

# **Indicadores edáficos para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz en Udoles de la Región Pampeana**

*Tesis presentada para optar al título de magister de la Universidad de Buenos Aires,  
Área Ciencias del Suelo*

Daniel Canova

Ingeniero Agrónomo, UBA, 1981

Lugar de trabajo: Actividad privada



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano  
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

**COMITÉ CONSEJERO**

Director de tesis:

Alberto Quiroga

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de La Pampa)

Doctor en Ciencias del Suelo (Universidad Nacional del Sur)

Consejero de Estudios:

Miguel Taboada

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias del Suelo (Universidad Nacional de Buenos Aires)

**JURADO DE TESIS**

**JURADO**

Fernando Salvagiotti

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Córdoba)

Doctor of Philosophy, Soil and Water Sciences, University of Nebraska-Lincoln

**JURADO**

Guillermo Divito

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Doctor en Agronomía (Universidad Nacional de Mar del Plata)

**JURADO**

Gabriel Espósito

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Río Cuarto)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Córdoba)

Fecha de defensa de tesis: 28 de septiembre de 2017

#### Dedicatoria:

A mi familia y en especial a mi padre (q.e.p.d.) que siempre me animó a realizar y finalizar esta Maestría en Ciencias del Suelo.

#### Agradecimientos:

A los consejeros Dr Alberto Quiroga y Dr Miguel Taboada, con el convencimiento de que sin ellos esta tarea hubiese sido imposible. A los Dres Martín Díaz Zorita y Jorge González Montaner por sus consejos en el temario de esta tesis y en el análisis de los resultados. Un especial agradecimiento a los técnicos que trabajaron junto a mí y que colaboraron en la implementación de los ensayos: Nicolás Ridley, Pablo Ferrari, Nicolás Bosco y Sebastián Fernández. A los propietarios, administradores, asesores y encargados de campo donde realicé los ensayos: Héctor Luis Mendiando, Alberto Staib, familia Ugarte, Ricardo Oglietti (+), Blas Arzubi, José Zuccarelli, Angel Sanguinetti y familia Sanguinetti, Angélica Alcorta, Andrés Casciani, familia Ciccarelli, Luciano Magri, familia Villafañe, Pablo Nagore, Benito Ferradas, Carlos Scopponi, Santiago Mayorga, Mario Giussani, Laura y César Pereyra, Carlos Lanfredi, Claudia Miceli, Tomás Tezanos Pinto, Cecilia Pereira, Alejandro Alzari, familia Alzari, Roberto Issuribehere, Raul Catalán Pellet, familia Catalán Pellet, Oscar Patti, familia Albertengo, familia Martinelli. A todos los técnicos que colaboraron en las tareas de campo y en gabinete: Pablo Angelotti, Analía Curti, Tomás Coyos, Flavia Tassone, Matías Lacorazza, Juan Carlos Quiroga, Miguel Kehoe, Alejandro Turati y Patricio Gasparri. Roberto Sola del laboratorio Consultagro. A los técnicos y personal de Inta Anguil y en especial a Romina Fernández y Guillermo Pérez de esa Estación Experimental. A Gabriel Prieto por su ayuda en la realización de la Maestría.

*Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.*

Presentaciones en congresos y reuniones científicas derivadas de la tesis:

- Canova, D. & A. Quiroga. 2010. El nitrógeno anaeróbico y otros parámetros como elemento de diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.
- Canova D.; Ferrari, P.; Bosco, N.; Sola, R y Díaz Zorita, M. 2010. Parámetros de fertilidad de suelos como elemento de diagnostico de la fertilización nitrogenada en maíz. IX Congreso Nacional de Maíz. 17 al 19 de noviembre de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria y agradecimientos.....	iii
Publicaciones derivadas de la tesis.....	iv
Índice General.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras .....	vii
Abreviaturas.....	ix
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
 1. Introducción y antecedentes.....	 1
2. Hipótesis de trabajo y objetivos de la tesis .....	30
3. Materiales y métodos.....	31
4. Resultados obtenidos .....	41
5. Discusión.....	88
6. Resumen de resultados y conclusiones generales.....	100
7. Referencias bibliográficas.....	104
 ANEXO 1 Clima, suelo de las áreas de estudio y uso de la tierra.....	 125
ANEXO 2 Esquemas de ensayos – fotografías.....	141
ANEXO 3 Análisis estadísticos de agua útil a la siembra y lluvias.....	148
ANEXO 4 Tablas de correlaciones y significancia del A.C.P.....	153
ANEXO 5 Ensayos 2008, 2009 y 2011.....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: número de ensayos realizados por zona geográfica y campaña agrícola y dosis de N utilizadas.

Tabla 2: Sitio de los ensayos de campo, híbrido de maíz utilizado y fecha de siembra.

Tabla 3: Período de estudio, índice ONI promedio del período y calificación del fenómeno.

Tabla 4: Sitios de ensayos de campo campañas 2005 y 2006 en el sur de Santa Fe y en el Noroeste de Buenos Aires, fracciones texturales, textura, densidad aparente (DA) densidad aparente máxima y compactación relativa. Agua útil a la siembra (AUS) Lluvias en mm de Octubre a Enero. AUS más lluvias de Octubre a Enero.

Tabla 5: Contenido de MOT, Índice MOT/a+l, MOJ, N en el suelo a la siembra y N incubado anaeróbico (Nan).

Tabla 6: Rendimiento de maíz en kg ha<sup>-1</sup> según dosis de N de 0, 50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> en cada sitio de ensayo

Tabla 7: Correlaciones del AMCP con las variables originales para los suelos Argiudoles y Hapludoles en conjunto.

Tabla 8: Correlaciones del AMCP con las variables originales para los suelos Argiudoles.

Tabla 9: Correlaciones del AMCP con las variables originales para los suelos Hapludoles.

Tabla 10: Coeficientes de correlación entre parámetros del suelo y significancia estadística.

Tabla 11: Coeficientes de correlación entre parámetros del suelo y climáticos y el rendimiento de los cultivos sin y con N adicional, la respuesta al N y la significancia estadística en los suelos Argiudoles.

Tabla 12: Coeficientes de correlación entre parámetros del suelo y climáticos y el rendimiento de los cultivos sin y con N, la respuesta al N y la significancia estadística en los suelos Hapludoles.

Tabla 13: N inicial del suelo, coeficientes a, b y c de la ecuación exponencial de cada ensayo, x máximo, x económico, rendimiento del testigo según ecuación, rendimiento a la dosis x económica, respuesta, eficiencia de conversión y significancia estadística entre tratamientos en cada sitio.

Tabla 14: Coeficientes a, b y c de la ecuación exponencial x máximo de N, x económica de N, rendimiento a la dosis x económica, respuesta al uso de N, eficiencia de conversión en kg de maíz/ kg de N aplicado de cada zona geográfica.

Tabla 15: Valores umbrales de N en kg ha<sup>-1</sup> para alcanzar el 95% de la producción y para optimizar la renta según distintas metodologías.

Tabla 16: Producción de grano. Coeficientes de correlación entre el rendimiento de grano de las parcelas con y sin N, la respuesta al N y algunos parámetros del suelo y climáticos y su significancia estadística en Argiudoles y Hapludoles en la campaña 2011/12.

Tabla 17: Producción de Materia Seca. Coeficientes de correlación entre la producción de MS en kg ha<sup>-1</sup> de las parcelas con y sin fertilización con N, la respuesta al N y la MOT, el índice MOT/a+l, la MOJ, el agua útil a la siembra y las precipitaciones de Octubre a Enero y su significancia estadística en la campaña 2011/12.

Tabla 18: modelos de regresión lineal múltiple del rendimiento de maíz testigo sin N adicional y del rendimiento relativo (RR) en Argiudoles (Arg.) y Hapludoles (Hapl.) en función de parámetros de suelo y clima.

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de decisión para la fertilización nitrogenada de maíz en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Adaptado de Ruiz et al (2001) y Ferrari (2009).
- Figura 2: Ubicación geográfica de los sitios donde fueron establecidos los ensayos de fertilización en maíz.
- Figura 3: Relación de la MO Joven con el contenido de MOT en Argiudoles y en Hapludoles.
- Figura 4: Relación entre el Nan con la MOT/a+l en Argiudoles y en Hapludoles.
- Figura 5: Relación entre la MO Joven con el Índice MOT/a+l en Argiudoles y en Hapludoles.
- Figura 6: Relación entre el Nan con la MO Joven en Argiudoles y en Hapludoles.
- Figura 7: Rendimiento de maíz en función del contenido de agua inicial del suelo más las precipitaciones octubre a enero. Modelo polinomial.
- Figura 8: Gráfico biplot de componentes principales para los suelos Argiudoles y Hapludoles en conjunto.
- Figura 9: Gráfico biplot de componentes principales para los suelos Argiudoles.
- Figura 10: Gráfico biplot de componentes principales para los suelos Hapludoles.
- Figura 11: Rendimiento del maíz en los tratamientos testigo sin N adicional en función del N inicial en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe y en los suelos Hapludoles del Noroeste de Bs As.
- Figura 12: Rendimiento de maíz sin fertilizante nitrogenado adicional en función del nivel de N inicial del suelo a la siembra en Argiudoles y en Hapludoles campaña 2009/10.
- Figura 13: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial (suelo + fertilizante) en los suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires y en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe.
- Figura 14: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial (suelo + fertilizante + N estimado del Nan) en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe y en los suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires.
- Figura 15: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe.
- Figura 16: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante en los suelos Hapludoles del norte de Buenos Aires.
- Figura 17: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante más el estimado a partir del Nan en los suelos Argiudoles.
- Figura 18: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante más el estimado a partir del Nan en los suelos Hapludoles.
- Figura 19: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe.
- Figura 20: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional y con N adicional y los contenidos de MOT (%) en suelos Argiudoles.
- Figura 21: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional y con N adicional y los contenidos de MOT ( $\text{t ha}^{-1}$ ) en suelos Argiudoles.
- Figura 22: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional y con N adicional y los contenidos de MOT (%) en Hapludoles.
- Figura 23: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional y con N adicional y los contenidos de MOT ( $\text{t ha}^{-1}$ ) en Hapludoles.

Figura 24: Rendimiento de grano de maíz en función del Índice MO total/a+l en los tratamientos sin N y con N en Argiudoles y en Hapludoles sin N y con N.

Figura 25: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con la MO joven en Argiudoles sin nitrógeno adicional y con nitrógeno adicional.

Figura 26: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con el Nan en Argiudoles sin nitrógeno adicional y con nitrógeno adicional.

Figura 27: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con la MO Joven en Hapludoles sin nitrógeno adicional y con nitrógeno adicional.

Figura 28: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con el Nan en Hapludoles sin nitrógeno adicional y con nitrógeno adicional.

Figura 29: Relación entre el rendimiento de maíz sin fertilizante nitrogenado adicional en función del Nan en Argiudoles y en Hapludoles.

Figura 30: Relación entre la respuesta al N con el rendimiento sin nitrógeno adicional en los suelos Argiudoles y en los suelos Hapludoles.

Figura 31: Respuesta al N adicional en función del rendimiento del testigo sin N adicional en Argiudoles y en Hapludoles en la campaña 2009/10.

Figura 32: Relación entre la respuesta al N adicional en Argiudoles y en Hapludoles con el N inicial del suelo de 0 a 60 cm en la campaña 2009/10.

Figura 33: Respuesta a la dosis máxima de N en función del N inicial en Argiudoles y en Hapludoles en la campaña 2009/10.

Figura 34: Relación entre la respuesta al N adicional y el Nan (0 a 20 cm) en Argiudoles y Hapludoles.

Figura 35: Relación entre la respuesta al N adicional y la MO joven en Argiudoles y Hapludoles.

Figura 36: Relación entre la producción de grano y la MOT en los tratamientos sin y con N adicional en los sitios de suelos Hapludoles en la campaña 2011/12.

Figura 37: Relación entre la producción de MS con la MOT en el maíz sin N y con N adicional en Hapludoles en la campaña 2011/12.

Figura 38: Relación entre la respuesta al N en la producción de MS con la MOT y con la MOJ en suelos Argiudoles en la campaña 2011/12.



## ABREVIATURAS

AUS: agua útil a la siembra

AUS + pp: agua útil a la siembra más precipitaciones de Octubre a Enero

AUF: agua útil en floración

DA: densidad aparente

DAM: densidad aparente máxima

CC: capacidad de campo

PMP: punto de marchitez permanente

CN: sitios con influencia de napa

SN: sitios sin influencia de napa

ISNT: Illinois Soil Nitrogen Test

N: nitrógeno

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : nitrógeno de nitratos

Nf: N aportado por el fertilizante

Na: N aportado por fijación biológica y/o lluvias

Nom: N orgánico mineralizado

Nii: N inorgánico inicial

Np: N absorbido por la planta

Ng: N perdido en formas gaseosas (N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O o NH<sub>3</sub>)

Nl: N perdido por lavado

Ne: N perdido por erosión

Niin: N inorgánico inmovilizado

Nif: N inorgánico final

Pe: fósforo extractable

MOT: materia orgánica total

MOS: materia orgánica del suelo

% MOT: % de materia orgánica total

C: carbono de la materia orgánica

MOP: materia orgánica particulada

MOJ: materia orgánica joven

IMO: índice MOT/arcilla+limo

MOT/a+l: índice MOT/arcilla+limo

N<sub>0</sub>: N potencialmente mineralizable en incubación aeróbica

Nan: nitrógeno anaeróbico o nitrógeno incubado anaeróbico

NT: nitrógeno total

MS: materia seca

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

ONI: Oceanic Niño index

ENSO: El Niño Southern Ocean Oscilation

DOE: dosis óptima económica

NO: Noroeste

RR: rendimiento relativo

Cl Ca: cloruro de calcio

R: rojo

IR: infrarrojo cercano

NDVI: Índice de Vegetación Normalizado

MSA: Modelos de Simulación Agronómica

AMCP: Análisis multivariado de componentes principales

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo consistió en la búsqueda de metodologías de diagnóstico que mejoren la estimación de las dosis óptimas económicas de nitrógeno (DOE de N) en cultivos de maíz en dos zonas de suelos de características contrastantes los Argiudoles del sur de Santa Fe y los Hapludoles del NO de Buenos Aires. Se trabajó durante 5 campañas, se realizaron 20 ensayos de campo de fertilización con N en las primeras dos y 60 ensayos complementarios posteriormente. Se evaluó un conjunto de estimadores complementarios del N inicial del suelo ( $N-NO_3^-$ ) a la siembra: el N incubado anaeróbico (Nan), la MO joven (MOJ), la MO total (MOT) y la relación MOT con el contenido de arcilla y limo (Índice MOT/a+l).

Las variables MOT, MOT/a+l, MOJ tuvieron correlación entre sí en suelos Argiudoles y Hapludoles y explicaron la variación del rendimiento. En Argiudoles el índice MOT/a+l fue el que mejor correlacionó con el rendimiento para los tratamientos sin y con N adicional. El Nan tuvo correlación con la MOT, con la MOJ y con el Índice MOT/a+l en Argiudoles y no así en Hapludoles.

El N inicial ( $N-NO_3^-$ ) condicionó los rendimientos interactuando con la disponibilidad de agua. La respuesta al agregado de N en Argiudoles correlacionó con las precipitaciones registradas en Diciembre y con las acumuladas en el ciclo (Octubre Enero) y aumentó en la medida que mejoró la condición de los sitios, calificada con las variables Nan, MOJ, MOT y MOT/a+l. En años de buenas precipitaciones (años Niño), el N inicial ( $N-NO_3^-$ ) resultó el elemento de mayor peso para determinar el rendimiento de los cultivos sin N adicional y la respuesta al N en Argiudoles. En Hapludoles el rendimiento de maíz sin N y la respuesta al agregado de N adicional dependió también del N inicial ( $N-NO_3^-$ ).

El N total aportado por el suelo más el del fertilizante en Argiudoles y en Hapludoles, explicó el 18% y el 55% de las variaciones del rendimiento respectivamente. Si se agrega el N aportado por el suelo estimado a partir del  $N_{an}$ , las funciones explican el 44% y 65% del rendimiento para Argiudoles y Hapludoles respectivamente. Si se analiza el rendimiento relativo (RR) de cada sitio con el obtenido con la máxima dosis de N, la explicación asciende al 77% y 76% respectivamente.

Se indican umbrales de 210 y 180 kg N ha<sup>-1</sup> para alcanzar el 95% de RR para el sistema N del suelo + N del fertilizante para Argiudoles y Hapludoles respectivamente y de 200 y 204 kg ha<sup>-1</sup> para maximizar el beneficio económico para Ardiudoles y Hapludoles respectivamente.

En Hapludoles el rendimiento de maíz sin N adicional mostró correlación con el N inicial (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y con el  $N_{an}$  y la respuesta al agregado de N resultó inversa a esas variables y a la MOJ. En sitios con  $N_{an}$  superiores a 70 mg kg<sup>-1</sup> no hubo respuesta a la fertilización adicional con N.

Los modelos de regresión lineal múltiple elaborados que incluyen el N inicial (suelo + fertilizante) y el  $N_{an}$  explicaron el 70% y el 60% del RR a la máxima dosis de N en Argiudoles y Hapludoles respectivamente. En Argiudoles el modelo que explica el rendimiento del maíz sin N adicional utiliza el Índice MOT/a+1 y en Hapludoles el N inicial (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el  $N_{an}$  y la MOJ. En cuanto a los sitios con N adicional en Argiudoles el modelo incluye el Índice MOT/a+1, las precipitaciones de diciembre y el N inicial suelo + fertilizante. En el caso de los Hapludoles el modelo elegido incluye el N inicial suelo + fertilizante y el  $N_{an}$ . En cuanto a la respuesta a la fertilización con N en los Argiudoles el modelo utiliza las precipitaciones de diciembre y en los Hapludoles el N inicial (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el  $N_{an}$  y la MOJ.

Si bien estos resultados son preliminares, surge que el  $\text{N-NO}_3^-$  inicial y los parámetros relacionados con la MOT, el Nan, la MOJ, el Índice MOT/a+l así como las precipitaciones y el AUS, son indicadores relevantes en la determinación del rendimiento de maíz y de su respuesta a la fertilización nitrogenada.

## ABSTRACT

The objective of this work was to search new tools to improve N diagnosis in corn production in two main areas: South Santa Fe province in Argiudoll soils and NW Buenos Aires province in Hapludoll soils. During 5 seasons about 80 field experiments were performed.

Some soil parameters were considered besides initial  $\text{N-NO}_3^-$  content, soil water content at planting (WCP), total Organic Matter (OM), labile Organic Matter (labile OM), anaerobically incubated N (Nan) and the OM/silt+clay index.

In Argiudoll soils OM/silt+clay index, total OM, labile OM and Nan were correlated and explained corn yields and consistently characterize soil potential. OM/silt+clay index had the highest correlation values with yield, without and with fertilizer.

Labile OM correlated with total OM and with OM/silt+clay index but not with Nan in Hapludoll soils.

Available  $\text{N-NO}_3^-$  soil content plus N fertilizer explained 18% and 55% yield variations in Argiudoll and Hapludoll soils respectively. If an estimation of N is added regarding the Nan values, graphic models explain 44% and 65% of yields respectively.

If relative corn yields for each site (yield/ yield with maximum N dosis) is analysed, total available N content (soil + fertilizer) explained 77% and 76% for Argiudoll and Hapludoll soils respectively.

In Argiudoll soils yield responses to N fertilization correlated well with rainfalls during growth period (October to January) and those registered in December and increased with better soil conditions measured by total OM, labile OM, Nan and OM/silt+clay index.

On seasons with average rainfall record or above it, (El Niño events) total available  $\text{N-NO}_3^-$  content at planting was the best index to predict yield without N fertilizer and yield N response in Argiudoll soils.

Available  $\text{N-NO}_3^-$  soil content and Nan correlated well with corn yields without N fertilizer in Hapludoll soils. In these soils yield response to N fertilizer was inverse to corn yield without N fertilizer, to available  $\text{N-NO}_3^-$  content at planting, to Nan values and to labile OM. Soils with Nan values over 70 ppm no yield response was found.

Nitrogen thresholds were stated for both Argiudoll and Hapludoll soils regarded to a 13: 1 (corn: N) price relation basis and also to reach 95% of relative yield.

Some multiple linear regression models that include  $\text{N-NO}_3^-$  soil content and Nan are stated for both Argiudoll and Hapludoll soils. Models including  $\text{N-NO}_3^-$  soil content and Nan explained 70% and 60% of relative yields in Argiudoll and Hapludoll soils respectively. In Argiudolls yield without N models use OM/silt+clay index and in Hapludolls the same model use  $\text{N-NO}_3^-$  soil content, Nan and labile OM. Yield response models use December rainfalls in Argiudolls and  $\text{N-NO}_3^-$  soil content, Nan and labile OM is used in Hapludolls.

These preliminary results show the importance to integrate physic, chemical and biological index. Parameters related with OM, OM/silt+clay index, WCP, Nan and inicial soil  $\text{N-NO}_3^-$  content are relevant indicators to determine corn yield and N response. Though among different type soils, soil indicators may be the same, priority order may vary.

## 1. Introducción y antecedentes

### 1.1. Introducción.

El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes esenciales del cultivo de maíz (*Zea mays*, L.) y que más habitualmente limita los rendimientos en la Región Pampeana de Argentina producto de los altos requerimientos y la disminución progresiva en los contenidos de materia orgánica (MO) de los suelos (Sainz Rozas *et al.*, 2011). La necesidad creciente de aumentar los rendimientos en forma rentable, requiere hacer un diagnóstico ajustado de la fertilidad nitrogenada equiparando la oferta desde el suelo con la demanda por los cultivos. Para ello debe establecerse el probable punto de máximo retorno económico o dosis óptima económica (DOE) donde el valor económico de lo producido por unidad de N agregado es igual al costo de aplicar esa unidad de N. Este ajuste permite evitar la sub utilización de recursos, el consumo de lujo de los cultivos o minimizar el daño ambiental a partir de la lixiviación de nitratos, la volatilización de amoníaco y la emisión de óxido nitroso (Gutiérrez Boem *et al.* 2005; Havlin *et al.* 2005; Picone *et al.* 2013).

En general, los métodos de diagnóstico se basan en evaluar la disponibilidad de N en el suelo en el momento de la siembra o en los primeros estadios del cultivo, lo que permite establecer umbrales para alcanzar un determinado rendimiento. Esta metodología es especialmente confiable en la zona norte de la región pampeana, pero es menos válida para zonas de temperaturas más bajas y con suelos de mayor contenido de MO como los del sudeste bonaerense (Reussi Calvo *et al.*, 2014).

Los umbrales de N al cual se busca llevar el suelo con el agregado de fertilizante, pretenden lograr determinados rendimientos de maíz que no siempre obtienen la mayor eficiencia económica ya que no se contemplan específicamente los aportes de N del

suelo durante la estación de crecimiento. Esto puede ser causa de una sobre dosis de N que disminuye la renta económica y o que puede causar un daño ambiental.

El N que absorben los cultivos proviene de la materia orgánica del suelo (MOS) y en particular de la fracción más joven (MOJ) o lábil que es el material orgánico más activo. Esta fracción lábil es la que mayor porcentaje de N aporta en el ciclo de los cultivos y es además la fracción más sensible a los diferentes manejos que el suelo recibe (Galantini y Suñer, 2008).

Algunos investigadores han estimado los aportes de N a lo largo de la estación de crecimiento de los cultivos a partir del contenido de MO joven y/o de la relación MO total/arcilla + limo. Por ejemplo, en la Pampa Semiárida, Quiroga *et al.* (2005) encontraron que existía relación entre la MO joven y los contenidos de N de  $\text{NO}_3^-$  a la siembra con el rendimiento de los cultivos de trigo y maíz. Quiroga *et al.* (2006) también relacionaron la variación del rendimiento de maíz y la respuesta a N con el índice MO/arcilla+limo.

Espósito *et al.* (2006) calibraron un modelo de fertilización nitrogenada para el departamento Rio Cuarto, Argentina, a partir del contenido de N de  $\text{NO}_3^-$ , la MOS y la densidad aparente hasta 40 cm y la disponibilidad hídrica del perfil hasta los 100 cm en  $V_6$ . Se estimó un factor de mineralización de la MOS según el balance hídrico desde un mes antes de la siembra y hasta  $V_6$  y la disponibilidad hídrica en ese momento. El modelo de diagnóstico arrojó un índice de coincidencia entre los valores observados y simulados de 92 % en lo que los autores denominan ***factor de mineralización del N***. Este factor representa el aporte de N del suelo en la estación de crecimiento y que se utiliza con una metodología de balance frente a la demanda del cultivo en función del rendimiento esperado.



1.2. Las medidas de N disponible: concentración de N de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo a la siembra.

En general, los métodos de diagnóstico que predicen la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada se basan en considerar los requerimientos del cultivo y la disponibilidad de N en el suelo y/o en la planta. En este sentido uno de los elementos más utilizados para determinar las necesidades de fertilización es el contenido de N inicial considerando básicamente el contenido de N de  $\text{NO}_3^-$  del suelo.

En la Argentina la medición del contenido de N de  $\text{NO}_3^-$  y su determinación en los primeros 20 cm de profundidad se utilizó en los años 1970 y hasta mediados de la siguiente década como herramienta única de diagnóstico. Los umbrales utilizados como disponibilidad de N proveniente del suelo oscilaron entre los 70  $\text{mg kg}^{-1}$  de N de  $\text{NO}_3^-$  para el área de la EERA-INTA Marcos Juárez (Bonel *et al.* 1978), hasta los 100  $\text{mg kg}^{-1}$  N de  $\text{NO}_3^-$  para el área de la EERA-INTA Pergamino (Senigagliesi, 1984). Esta herramienta es orientativa por sí sola pero es muy limitada ya que se quiere estimar lo que ocurrirá con el rendimiento del cultivo midiendo un nutriente móvil a la siembra como es el N de  $\text{NO}_3^-$ . La misma ha perdido importancia y se ha reemplazado por métodos más novedosos y confiables (Ferrari, 2009).

1.3. Disponibilidad de N a la siembra: N de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo + N del fertilizante

Este método de diagnóstico para el cultivo de maíz fue desarrollado inicialmente para el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe por Ruiz *et al.* (1997). La metodología consiste en alcanzar una determinada disponibilidad de N o umbral crítico expresada en  $\text{kg ha}^{-1}$  al inicio del ciclo del cultivo considerando que por encima de ese valor es poco probable obtener respuesta a la fertilización. La dotación de N a alcanzar resulta de

sumar la cantidad de N de  $\text{NO}_3^-$  determinada en el estrato del suelo (0-60cm) y la dosis de N de fertilizante a agregar.

En este análisis se considera que ambas fuentes de N poseen igual eficiencia de utilización cuando en realidad no lo es dado que el N del fertilizante es más susceptible a la volatilización que el N proveniente de la MOS (Meisinger, 1984).

Los primeros trabajos publicados para el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe proponían un umbral a alcanzar de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de N más allá del cual la probabilidad de respuesta es baja (Ruiz *et al.* 1997). En trabajos posteriores el criterio fue ajustado y enriquecido mediante la incorporación de otras variables de sitio como los años de agricultura previos y el pH. De esta forma se establecieron rangos de disponibilidad de N donde se podrían encontrar mayores o menores probabilidades de respuesta (Ruiz *et al.* 2001). Figura 1.

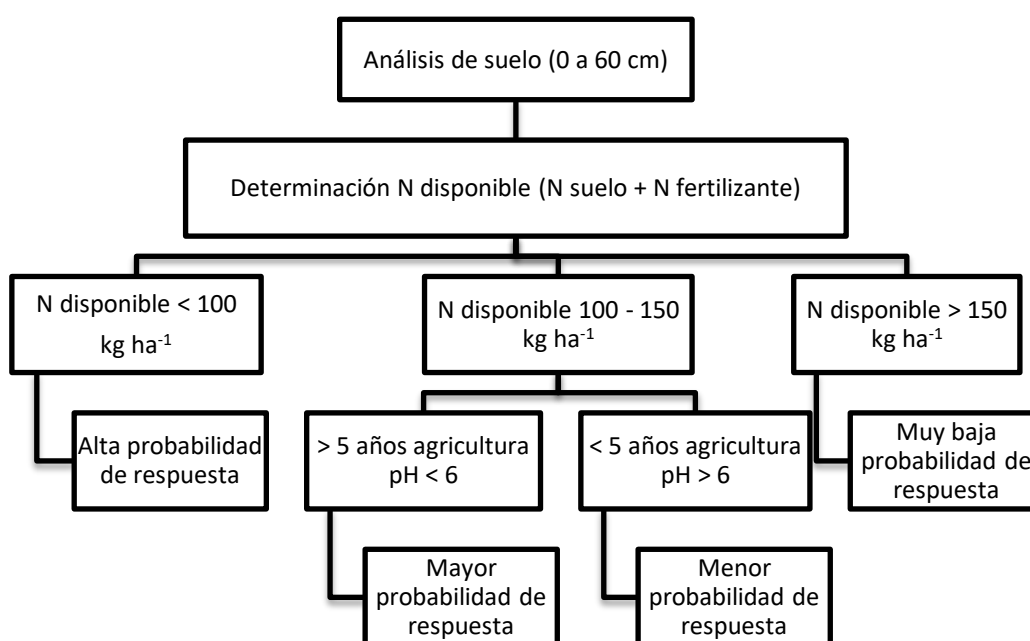


Figura 1. Esquema de decisión para la fertilización nitrogenada de maíz en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe desarrollado por la FAUBA y grupos CREA Sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires. Adaptado de Ruiz *et al.* (2001) y Ferrari (2009).

Evaluaciones de resultados experimentales en el sur de Santa Fe durante los años 2000, 2002, 2003 y 2004, indicaron que disponibilidades de N de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo (0-60 cm) + N fertilizante de 150-170  $\text{kg ha}^{-1}$ , según el potencial de rendimiento, maximizaron el beneficio económico de la fertilización con N y se alcanzarían rendimientos de 10000  $\text{kg ha}^{-1}$  con 177  $\text{kg ha}^{-1}$  de N suelo + fertilizante (García *et al.* 2005).

Alvarez *et al.* (2003) analizando 320 situaciones para maíz correspondientes al período 1996-2002 establecieron la curva de respuesta del rendimiento de maíz para distintas disponibilidades de N mineral definida como la suma del contenido de nitratos de 0 a 60 cm más el N aportado como fertilizante. Publicaron las curvas de ajuste para el total de las poblaciones diferenciando las situaciones en bajos (25% inferior), medios (todos los sitios), y altos (25% superior) rendimientos. Las funciones presentadas son del tipo:  $Y: a * N^b$  donde Y es el rendimiento, N es el nivel de N inicial suelo + fertilizante con sus correspondientes coeficientes a, b y  $R^2$ . Estas funciones se utilizaron para estimar la rentabilidad en función de la relación de precios fertilizante: grano. Los algoritmos presentados recomiendan llevar el nivel de N del suelo (N de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo (0-60 cm) + fertilizante) dentro de un rango de 110 a 180  $\text{kg ha}^{-1}$  según esa relación. La dosis a aplicar tiene en cuenta el nivel de N en presembrado o en  $V_4$ - $V_5$  ambos en la profundidad de 0 a 60 cm, aclarando que no encontraron diferencias en los modelos utilizando el valor de N del suelo de uno u otro momento. Como puede verse en esta metodología no se consideran otras variables de sitio más allá del contenido inicial de N de  $\text{NO}_3^-$ .

En el centro sur de Santa Fe Salvagiotti *et al.* (2011) propusieron dos niveles críticos: 133  $\text{kg ha}^{-1}$  de N para situaciones en las cuales los rendimientos alcanzables son inferiores a los 9500  $\text{kg ha}^{-1}$  de grano y 162  $\text{kg ha}^{-1}$  de N para sitios en los que los

rendimientos superan los 9500 kg ha<sup>-1</sup> de grano. Tal como resalta Ferrari (2009) la correcta valoración del potencial productivo del lote permite realizar una mejor aproximación a la dosis correcta de N a aplicar optimizando de este modo también la eficiencia de uso del mismo.

En Hapludoles típicos de la Pampa Arenosa se alcanzaron máximas productividades a partir de contenidos de N de 142 kg ha<sup>-1</sup> a 60 cm en el estadio de V<sub>6</sub> (Barraco y Díaz Zorita, 2005).

En Manfredi en un trabajo en que se analizó la respuesta sitio-específica al N en maíz, Gregoret *et al.* (2005), establecieron diferentes DOE por zonas de manejo. Así ante una relación de precios fertilizante: grano de 18:1 las DOE fueron de 128 kg ha<sup>-1</sup> de N disponible (suelo + fertilizante) para la zona de manejo Loma arenosa, 151 kg ha<sup>-1</sup> para la zona de manejo Bajo más húmedo y 205 kg ha<sup>-1</sup> para una zona de manejo con Riego.

En suelos del sudeste de la provincia de Córdoba con un set de datos más pequeño, Sánchez y Muñoz (2008) determinaron un umbral crítico de respuesta de 216 kg ha<sup>-1</sup> de N en años donde el agua no fue una limitante para la producción de granos. Por encima de ese umbral la probabilidad de respuesta a la fertilización fue baja. En una campaña con limitantes hídricas el umbral crítico se ubicó cercano a los 160 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Como señala Ferrari, (2009) el medir la disponibilidad inicial de N tiene la virtud de permitir realizar en forma simultánea el diagnóstico de la deficiencia y la recomendación de fertilizante nitrogenado a agregar. Este detalle hace que su utilización sea muy práctica y que actualmente goce de un buen nivel de adopción en muchas regiones de nuestro país y en especial en la región del norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe y es necesariamente un punto de referencia para la producción de maíz en todas las zonas.

Pagani *et al.* (2008) publicaron los resultados de una red de ensayos del SE bonaerense con la elaboración de modelos matemáticos de respuesta a la fertilización con N. Así por ejemplo para relaciones de precios 10:1 (10 kg de maíz para pagar 1 kg de N) y una disponibilidad de N a la siembra de 50 kg ha<sup>-1</sup> la DOE sería de 86, 110 y 145 kg N ha<sup>-1</sup> donde los niveles de N inicial a alcanzar (N del suelo + fertilizante) en presiembra fueron 136, 160 y 193 kg ha<sup>-1</sup> para años poco favorables, promedio y favorables respectivamente. En cuanto al momento de muestreo-fertilización, en general se observó que las DOE fueron menores en V<sub>6</sub> respecto de las DOE establecidas en el momento de la siembra para todos los años evaluados entre otras razones debido al mayor contenido de N de nitratos por la mineralización ocurrida hasta ese momento. Lo anterior, está de acuerdo con los resultados de Sainz Rozas *et al.* (2004 y 2008) quienes determinaron menores pérdidas de N del sistema en V<sub>6</sub> respecto de la aplicación a la siembra. Esto se traduce en mayores eficiencias de recuperación del fertilizante en V<sub>6</sub>, que es el momento en que las tasas de absorción de N por el maíz comienzan a ser significativas (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). Una ventaja de hacer las determinaciones y correcciones en el estadio de V<sub>6</sub> además de que en ese momento debería haber un mayor contenido de nitratos por la mineralización, es que en ese momento se pueden prever mejor cuáles serán las condiciones agroclimáticas del año (Pagani *et al.* 2008).

Si bien no se determinó un criterio estadístico para seleccionar el modelo más apropiado, el cuadrático-plateau arrojó los resultados más racionales desde el punto de vista agronómico frente a los modelos “lineal - plateau” y el “cuadrático”, en función del contenido inicial de N.

Las DOE se establecieron en función del momento de muestreo, de las perspectivas climáticas del año y de la relación de precios fertilizante y grano. Los autores

determinaron que las DOE variaron más con las perspectivas climáticas del año que con las relaciones de precios.

Desde otro punto de vista para el modelo cuadrático plateau se observó que el efecto de la potencialidad del año produjo variaciones en la DOE de 59 y 54 kg N ha<sup>-1</sup> para el momento de la siembra y para V<sub>6</sub> respectivamente. El efecto de la relación de precios produjo variaciones tan solo de 30 y 23 kg N ha<sup>-1</sup> para el momento de siembra y de V<sub>6</sub> respectivamente. La conclusión es que para determinar el nivel de N que es conveniente alcanzar es más importante la perspectiva del año que la relación de precios (Pagani *et al.* 2008).

Salvagiotti *et al.* (2011) analizaron 39 experimentos de fertilización nitrogenada y ajustaron modelos cuadrático plateau (CP) y esférico (Esf) para simular la respuesta a la fertilización con N. Ambos modelos determinaron con precisión la relación entre rendimiento y N disponible a la siembra en toda la red, pero el modelo CP presentó dificultades para representar la forma asintótica de la curva de respuesta. La red de ensayos bajo estudio exploró un amplio rango de oferta de N edáfico y potencialidad de producción de maíz. El máximo rendimiento osciló entre 3640 y 15722 kg ha<sup>-1</sup>, y el valor del percentil 50 de la distribución de esta variable, que separó las poblaciones de alto rendimiento (AR) y de bajo rendimiento (BR) fue de 9520 kg ha<sup>-1</sup>. Los umbrales críticos de N disponible a la siembra fueron de 137 y 161 kg N ha<sup>-1</sup> para las dos situaciones de BR y AR respectivamente. Los resultados de este trabajo remarcen que, para un correcto diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz, es importante definir el potencial de rendimiento del cultivo que permita alcanzar mayor rentabilidad haciendo un uso eficiente del fertilizante.

En un reciente trabajo en maíz de siembra tardía en Entre Ríos, Díaz Valdés *et al.* (2014) encontraron un mejor ajuste de la función linear plateau con muestreos de N

disponible (Nd) en presiembra (PS) respecto de muestreos en V<sub>6</sub> independientemente de la profundidad de muestreo. Los umbrales de Nd en PS para alcanzar el umbral crítico fueron de 121, 150 y 165 kg N ha<sup>-1</sup> según se considere una profundidad de muestreo de 0-20 cm, 0-40 cm o 0-60 cm.

#### 1.4. Otras metodologías de diagnóstico. Disponibilidad de N (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en las primeras etapas del ciclo de cultivo.

La metodología de medir el N del suelo en V<sub>5</sub>-V<sub>6</sub>, puede complementar el diagnóstico inicial realizado a través del análisis de suelo en presiembra. El uso como indicador del análisis de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a 0-30 cm de profundidad al estadio de 5-6 hojas desplegadas (V<sub>5</sub>-V<sub>6</sub>) fue inicialmente desarrollado por Magdoff *et al.* (1984) en el noreste de EEUU y posteriormente difundido en el cinturón maicero en el medio Oeste americano. Cuando las determinaciones y el diagnóstico se realizan en los estadios V<sub>5</sub> ó V<sub>6</sub> la metodología se suele llamar PSNT, por las siglas en inglés de Pre Side Nitrogen Test (Test de N en pre-escardillada). Este test refleja la mineralización que ocurrió *in situ* durante estadios iniciales del cultivo (Meisinger *et al.* 1992). El mismo permite corregir con ventajas las posibles necesidades de los cultivos ya que se puede prever con mayor seguridad como será climáticamente el año en cuestión (Pagani *et al.* 2008; Sainz Rosas *et al.* 2008). Cuando se utiliza el índice PSNT se asume que la mayor parte del fertilizante nitrogenado será aplicado en ese estadio y que a la siembra del cultivo sólo se aplican cantidades reducidas de N (menos de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N).

Las evaluaciones en distintas áreas de la región pampeana argentina han mostrado resultados similares. Ferrarri *et al.* (2001) establecieron un nivel crítico de 20 mg kg<sup>-1</sup> para la profundidad de 0-30 cm en el centro norte de provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. Salvagiotti *et al.* (2002), trabajando en el centro-sur de Santa Fe, propusieron

también umbrales específicos para distintos niveles de productividad del cultivo: 21 mg kg<sup>-1</sup> y 26 mg kg<sup>-1</sup> para rendimientos medios de grano inferiores o superiores a 8000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

En el sudeste bonaerense, (Sainz Rozas *et al.* 2000) encontró que, en general, se pueden esperar respuestas a la aplicación de N si el nivel de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es menor de 15-27 mg kg<sup>-1</sup>, dependiendo del nivel de rendimiento alcanzado. En maíz de secano, con rendimientos promedio de 9000 kg ha<sup>-1</sup>, los niveles críticos se ubicaron entre 15 y 17 mg kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (García *et al.* 1997; Sainz Rozas *et al.* 2000). Bajo condiciones de riego, con rendimientos de hasta 15000 kg ha<sup>-1</sup>, los umbrales críticos se ubican entre 24 y 27 mg kg<sup>-1</sup> (Sainz Rozas *et al.* 2000).

En el Oeste bonaerense, Díaz Zorita y Duarte (1997) encontraron una relación significativa entre los rendimientos y la disponibilidad de N en suelo (0-60 cm) en kg ha<sup>-1</sup> más el empleado como fertilizante (Rendimiento: 6994 + 18 (N suelo+ fertilizante) (R<sup>2</sup>: 0,51).

En las regiones más húmedas de EE UU y Canadá la disponibilidad de N como N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en presembrado o en V<sub>5</sub> V<sub>6</sub> no siempre representa un buen elemento de diagnóstico porque se considera que bajo esas condiciones con excesos de humedad frecuentes, el nitrato está afectado por ciclos de N muy activos: inmovilización, nitrificación, lavado, desnitrificación, absorción por el cultivo (Mulvaney *et al.* 2006).

Por esta razón en esas regiones las investigaciones que procuran mejorar el diagnóstico de la fertilización nitrogenada se han abocado en los últimos años a estudiar metodologías como el Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT). Otras medidas para mejorar el diagnóstico en estadios avanzados serían las determinaciones de clorofila en hoja mediante medidores de clorofila del tipo Minolta Spad 502 en V<sub>6</sub> o en el período



alrededor de floración (Echeverría *et al.* 2014) o los Índices espectrales del dosel como el NDVI (índice de vegetación diferencial normalizado), (Echeverría *et al.* 2014).

#### 1.5. Disponibilidad inicial de N y los modelos de simulación agronómica (MSA)

La disponibilidad inicial de N ha sido incorporada a modelos de simulación agronómica (MSA) para evaluar en forma conjunta los efectos de distintos niveles de N inicial con el suelo y el clima sobre la repuesta de distintos planteos de producción de maíz. Se estima así el impacto de la variabilidad climática sobre las respuestas a N y su estabilidad para distintas series de suelo, distintos niveles de MO, perfiles de humedad a la siembra, distintos híbridos y registros climáticos de la región (Satorre *et al.* 2001). La simulación incluye también una evaluación económica de la decisión de fertilización adoptada y del riesgo asociado a la misma. El modelo CERES-Maize es el más usado en Argentina y ha mostrado su utilidad en la región pampeana (Ferreyra *et al.* 2001). Una de las limitantes que presenta el uso de MSA es que requiere coeficientes genéticos que caracterizan el comportamiento diferencial de cada genotipo calibrados a partir de experimentos en condiciones óptimas de crecimiento (Manlla y Salvagiotti, 2010). Por otra parte no consideran las distintas fracciones que constituyen la misma y por lo tanto los diferentes aportes de N al sistema.

#### 1.6. Los métodos de balance de N

Otra forma estudiada para diagnosticar las necesidades de N por algunos autores locales e internacionales es la del método de balance de N. Un balance de N se define a partir de los procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones de N, estableciéndose límites en el espacio y el tiempo para el sistema suelo-planta (Meisinger, 1984; Neeteson, 1990; García y Davedere, 2008).

La utilización de balances de N para la formulación de recomendaciones de fertilización, si bien es sostenida por una sólida base teórica, está restringida por: 1) la variabilidad de los rendimientos esperados y los realmente alcanzados, 2) la variabilidad del N del suelo a escala de lote, 3) las estimaciones de N mineralizado y 4) las eficiencias de uso estimadas de las distintas fracciones de N (Rice y Havlin, 1994).

La falta de validación para la región pampeana de estos balances de N impiden al presente proponer usar dicha metodología con exclusividad. No obstante, es una herramienta clave para poder establecer una primera aproximación de la dosis de N a aplicar (Uhart y Echeverría, 2002; Echeverría y Sainz Rosas, 2005) y proporciona un excelente marco conceptual de trabajo aunque de poca utilidad práctica para determinar la dosis correcta de fertilización.

En EEUU desde la década de 1970 las recomendaciones de fertilización con N para el Medio Oeste se han realizado sobre la base de una metodología de balance donde un rinde esperado es multiplicado por un valor constante de necesidad de N que varía entre 19,4 y 24,2 kg N Mg<sup>-1</sup> de maíz. Este valor se ajusta de acuerdo a créditos de N por el cultivo antecesor o el uso reciente de abonos orgánicos. El sistema asume que la eficiencia de captar N del suelo y del fertilizante es similar (Meisinger 1984 y Meisinger *et al.* 1992). Obviamente que esta forma de trabajo puede utilizarse como marco conceptual para una gran área geográfica pero no contempla las características individuales que puede tener un lote de producción específico. De hecho en distintos estudios se han constatado excesos en el uso de fertilizaciones con N e inclusive casos en que las parcelas testigo sin N han rendido más que las fertilizadas. Situaciones similares se han reportado en las zonas más húmedas de EEUU y Canadá como Iowa, Illinois, Wisconsin, Pennsylvania, Ontario (Mulvaney *et al.* 2006).

Alvarez *et al.* (2006) analizaron 58 experimentos en cultivos de trigo y 35 en cultivos de maíz en la Pampa Ondulada y ajustaron un modelo explicativo de la mineralización aparente para ambos cultivos que explicó un 76% de la variabilidad.

Este modelo indicó que la mineralización era mayor al aumentar la temperatura y las precipitaciones y cuando los suelos tenían más N orgánico o su capacidad de mineralización era más alta. Por el contrario, la mineralización disminuía al incrementarse la cantidad de arcilla más limo del suelo, la cantidad de residuos del antecesor y el nivel de N inicial.

En estos mismos 35 sitios de maíz, Alvarez *et al.* (2005) determinaron los aportes de N orgánico e inorgánico a los cultivos y el requerimiento de N por unidad de grano producida (coeficiente b). El conjunto de ecuaciones predictivas de la magnitud de los distintos aportes y la metodología de estimación del coeficiente b se integraron en un modelo general explicativo del rendimiento de maíz. La estimación del N absorbido se realizó como la suma de las estimaciones del aporte del N mineral + N residuos + N estimado proveniente de la MOS. A su vez el coeficiente b estimado usando como variables de entrada el N absorbido y las precipitaciones, permitió estimar el rendimiento como N absorbido/coeficiente b. El modelo fue capaz de explicar un 41% de la variabilidad en los rendimientos. Steinbach *et al.* (2005) determinaron que el coeficiente b es variable y no fijo ya que depende del rendimiento observado y o esperado. Recomiendan estimar el requerimiento de N del maíz para el cálculo de la dosis de fertilizante a aplicar por el método del balance con la siguiente ecuación: N absorbido ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) = 23 \* rendimiento ( $\text{Mg grano ha}^{-1}$ ) - 45

#### 1.7.1. Los aportes de N en la estación de crecimiento a partir de la MOS.

Los umbrales a alcanzar con las DOE pretenden garantizar que se obtengan rendimientos máximos para ese sitio y ese año, pero no siempre se obtiene la mayor eficiencia económica de uso del N, dado que no se están incluyendo los aportes de N del suelo que habrá en la estación de crecimiento. Esto puede resultar en una sub o sobre aplicación del nutriente (Mulvaney *et al.* 2006). Ambas acciones pueden causar problemas ambientales y o consecuencias económicas adversas para los productores de maíz ya que una sub o sobre dosis de N como fertilizante disminuyen también la renta económica.

La fuente del N que se mineraliza y desde la cual recibirán N los cultivos es la materia orgánica del suelo (MOS), en particular la fracción más joven o lábil (MOJ).

Desde mediados del siglo XX la MOS ha estado ganando reconocimiento como un complejo sistema bio órgano mineral e indicador clave de la calidad del suelo y de la fertilidad de los agro ecosistemas (Manlay *et al.* 2006). Sin embargo aun con la importancia que tiene la MOS para la producción agropecuaria, son escasos los métodos de rutina que midan su contribución a la productividad, o bien no hay un consenso amplio sobre su forma de aplicación. El conocimiento sobre el aporte de nutrientes que ella realiza es escaso, motivo por el cual las estimaciones de la necesidad de fertilizantes han tenido en cuenta menos estos factores y se han basado mayoritariamente en la disponibilidad inicial, rendimiento esperado e historia de cultivos, que en la cantidad y la calidad de la MOS (Galantini y Suñer, 2008). Poder estimar la mineralización y la consecuente disponibilidad de N que dispondrán los cultivos en su desarrollo sirve para aumentar la eficiencia de uso del mismo maximizando la renta económica y minimizando las pérdidas que causan daño ambiental a partir de la lixiviación de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y la volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Sharifi *et al.* 2007), siendo este último, el óxido nitroso

(N<sub>2</sub>O) uno de los gases de efecto invernadero (GEI) más perjudiciales, (Picone *et al.* 2011; Cosentino *et al.* 2015).

En los últimos años, la intensificación de la actividad agrícola en toda la Región Pampeana ha ocasionado una disminución en el contenido de MOS cercano al 50% de su nivel original (Sainz Rozas *et al.* 2011). La MOS es una mezcla heterogénea de material orgánico en la cual no existen límites definidos; sin embargo, desde el punto de vista funcional y conceptual es importante fijarlos. Es posible definir varios compartimentos discretos con una relación inversa entre su tamaño y su velocidad de descomposición, donde las fracciones más abundantes se descomponen más lentamente. La disponibilidad para los microorganismos de cada uno de estos compartimentos dependerá de su composición química, relación C:N, estado de humificación y ubicación dentro de la matriz del suelo. La importancia funcional de la MO varía sistemáticamente con su edad. Los materiales más jóvenes son los biológicamente más activos, aquellos de edad intermedia contribuyen notablemente al estado físico edáfico, mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo (Galantini y Suñer, 2008).

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la MO total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.* 2007, Galantini y Suñer, 2008). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar esas diferencias. En cambio, las fracciones lábiles son las que aportan más N en el ciclo de los cultivos y son más sensibles a los efectos del uso del suelo y a los diferentes manejos. Por este motivo estas fracciones como la materia orgánica particulada (MOP) (Cozzoli *et al.* 2010) pueden utilizarse como

indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos y de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, 2000; Galantini y Suñer, 2008).

Los aportes de N en la estación de crecimiento desde la MOS dependen de muchos factores bióticos y abióticos así como de la historia agrícola, el manejo, el clima (temperatura y disponibilidad hídrica) y los efectos que interactúan con el ciclado de C (Griffin, 2008).

En el trabajo citado de Alvarez *et al.* (2005), los autores determinaron que la MOS actuó como principal proveedora de N para el maíz. La mineralización aparente varió entre -16 y 346 kg N ha<sup>-1</sup> siendo la media de 123 kg N ha<sup>-1</sup>. El modelo elaborado explicó un 67% de la variabilidad de la mineralización. Esta estuvo negativamente correlacionada con la cantidad de partículas finas del suelo y el contenido de N mineral y positivamente con el N orgánico del suelo, la capacidad de mineralización in vitro y las precipitaciones.

El efecto depresivo de la mineralización por parte de las partículas finas del suelo se ha atribuido a la protección que ejercen la arcilla y el limo sobre la MOS. Estas diferencias resultan de la mayor protección de la MOS contra la biodegradación (Van Veen y Kuikman, 1990). La protección ocurre cuando la MOS es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla y limo, o cuando es "incrustada" o recubierta por los minerales de arcilla (Tisdall y Oades, 1982; Golchin *et al.* 1994) o cuando se localiza dentro de los micro-agregados, fuera del alcance de los microorganismos (Elliott y Coleman, 1988). Todos estos mecanismos afectan negativamente las tasas de mineralización de C y N (Ladd *et al.* 1993). El efecto negativo de la disponibilidad de N también fue cuantificada por Alvarez *et al.* (2005) y se estimó que por cada 1 kg de N ha<sup>-1</sup> que aumentó el nivel de N mineral disponible en el suelo la mineralización disminuyó alrededor de 0,5 kg N ha<sup>-1</sup>.

Si se realiza un análisis espacial del N inicial y del N mineralizado a nivel de lote se puede encontrar también una alta variabilidad. En un estudio en Vedia, provincia de Buenos Aires, en un sitio con Hapludoles énticos en las lomas con baja capacidad de almacenamiento de agua (80-90 mm m<sup>-1</sup>) y Hapludoles típicos en los bajos, con un mayor contenido de MOS y una capacidad de almacenamiento de agua mayor (115-130 mm m<sup>-1</sup>), Zubillaga *et al.* (2005) encontraron que la mineralización aparente tuvo un rango que varió entre 80 kg ha<sup>-1</sup> hasta 243 kg ha<sup>-1</sup> según la posición en el paisaje. El N mineralizado mostró un patrón de distribución asociado a características texturales y a la concentración de MOS. Estas características estaban asociadas a la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos y por ende al nivel de productividad de los mismos. Así la producción de granos varió entre 6181 kg ha<sup>-1</sup> hasta 12670 kg ha<sup>-1</sup> en los distintos ambientes.

En un trabajo en EE UU y Argentina, Ruffo y Michiels (2010) encontraron que el rendimiento de maíz sin limitaciones de N fue relativamente uniforme espacialmente dentro de los lotes de producción, mientras que el rendimiento sin N varió fuertemente indicando que el aporte de N del suelo determina la variabilidad de la respuesta a la fertilización más que el potencial de rendimiento.

#### 1.7.2. Las fracciones lábiles de MO

La fracción lábil de la MO está constituida por restos vegetales, animales y hongos en distintos grados de descomposición. Es el material orgánico más joven y activo del suelo, compuesto por partículas de mayor tamaño que el humus, no ligada con la matriz mineral, y más liviana que los complejos órgano-minerales. Puede ser separada por una amplia variedad de alternativas que se pueden agrupar en: fraccionamiento químico,

bioquímico, físico de partículas y/o de agregados, isotópico y conceptual (Andriulo *et al.* 1990; Cambardella y Elliot, 1992).

El fraccionamiento físico de los componentes orgánicos del suelo se basa en el rol de los minerales edáficos dentro de la estabilización y el ciclado de la MO. Se lo puede considerar químicamente menos destructivo y sus resultados directamente relacionados con la estructura y función de la MO *in situ*.

El fraccionamiento físico de esta fracción lábil se determina entre los 50  $\mu\text{m}$  y los 2000  $\mu\text{m}$ . En la medida que aumenta el tamaño disminuye su complejidad y el tiempo de residencia medio en el suelo. El límite inferior puede ser fijado arbitrariamente en 50, 100 ó 200  $\mu\text{m}$ , según los objetivos de la evaluación que se realiza (Galantini, 2005). Esta fracción que presenta un rápido reciclado, cuando es separada por métodos físicos de tamizado es llamada materia orgánica “particulada” (MOP) o materia orgánica “liviana” (MOL) o materia orgánica “joven” (MOJ).

Así como una significativa porción de la MOS está química o físicamente estabilizada y es resistente a la degradación microbiana, una porción menor es más lábil y juega un rol importante como fuente de sustrato para la mineralización de N. Estas fracciones lábiles poseen una composición que las hace más fácilmente mineralizables para proveer nutrientes a los cultivos a lo largo de la estación de crecimiento en los sistemas de producción (Cambardella y Elliot, 1992). Poder cuantificar este aporte es esencial para hacer un uso eficiente del N (Stanford y Smith, 1972; Parton *et al.* 1987; Sharifi *et al.* 2007; Kader *et al.* 2010; Quiroga, 2005; Quiroga *et al.* 2008)

Si bien la fracción lábil es una fuente importante de los nutrientes que necesitan las plantas no siempre existe una relación directa entre la cantidad de MO lábil y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Sin embargo, existe una fuerte correlación con la disponibilidad debido a aspectos biológicos, por ser fuente de energía para los



microorganismos y por favorecer el mejor aprovechamiento de los nutrientes (Galantini y Suñer, 2008).

Algunos investigadores han estimado los aportes de N a lo largo de la estación de crecimiento a partir del contenido de MO joven, de la relación MO/arcilla + limo y del N potencialmente mineralizable incubado en aerobiosis o en anaerobiosis (Cambardella y Elliott, 1992; Echeverría *et al.* 2000; Calviño y Echeverría, 2003; Quiroga *et al.* 2008).

Por ejemplo, en la Pampa Semiárida, Quiroga (2005) encontró una relación significativa entre la MO joven y los contenidos de  $\text{N-NO}_3^-$  a la siembra con el rendimiento de los cultivos de trigo y maíz, en situaciones con lámina de agua útil mayor a 120 mm a la siembra. Este efecto de la MO joven fue más marcado en el caso del cultivo de maíz en comparación con el de trigo. Quiroga *et al.* (2006) también relacionaron la variación del rendimiento en maíz y la respuesta a N con el índice MO/arcilla+limo.

Domínguez (2004) encontró correlación entre el contenido la MOP y el N potencialmente mineralizable en los primeros 5 cm de suelo en un trabajo en el SE de la provincia de Buenos Aires. En esta misma región Studdert *et al.* (2008), en un ensayo de rotaciones mixtas y labranzas encontraron una alta relación entre el rendimiento relativo (RR) de maíz y la MOP. Esta relación se puso de manifiesto en las situaciones testigo sin N y desapareció en las situaciones en que se agregaron  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ . En años húmedos los RR sin N en SD obtuvieron una correlación más alta con el contenido de MOP en comparación con los obtenidos en labranza convencional así como con la MOT. En años secos sólo fueron significativas las regresiones entre RR y la MOT para los tratamientos sin N. Por la dinámica de la MOS las fracciones lábiles

están más influenciadas por el manejo e historia de cultivos que las fracciones más pesadas.

Quiroga *et al.* (2008) en Haplustoles y Hapludoles de la región semiárida y subhúmeda pampeana (RSSP) trabajando en tres grupos de suelos, suelos cultivados en agricultura continua, suelos rotados con pasturas y suelos vírgenes, encontraron que la relación entre MO joven/MOT era de 13,3%, 19,4% y 49,4% respectivamente. Puede inferirse la significativa influencia que el manejo tiene en esta fracción y más en particular en los suelos de texturas gruesas donde la MOS no está ligada mayoritariamente a las fracciones finas y por lo tanto se encuentra menos protegida.

#### 1.7.3. Las determinaciones de N mineralizable

Uno de las aproximaciones más utilizadas para determinar el N mineralizable ha sido la incubación aeróbica de muestras de suelo en condiciones estandarizadas por un período largo de tiempo y la determinación del incremento en la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Jarvis *et al.* 1996). Los protocolos para realizar esta determinación son muchos y variados pero son básicamente una variación del método propuesto por Stanford y Smith (1972). El objetivo es determinar el pool de N orgánico que está disponible para la mineralización junto con la tasa de mineralización en condiciones óptimas.

Stanford y Smith (1972) establecieron el concepto de N potencialmente mineralizable ( $\text{N}_0$ ) como un pool de N disponible. Utilizaron un método biológico de incubación aeróbica para medir la mineralización neta durante 210 días (30 semanas) que estima el  $\text{N}_0$  de acuerdo a una tasa constante y al final de ese período se evalúa la producción de nitrato y de amonio.

El N potencialmente mineralizable ( $N_0$ ) es una medida que permite estimar la cantidad de N que es capaz de aportar el suelo; la misma requiere una incubación de 4 a 12 semanas aunque el método original requiere como se indicó de 30 semanas de incubación. Inclusive algunos autores consideran que un período de incubación de 16 semanas es suficiente para asegurar que todo el N potencialmente disponible se ha mineralizado (Serna y Pomares, 1992).

Las comparaciones entre métodos son a menudo dificultosas porque las posibles combinaciones de pre tratamiento de muestras y de condiciones de incubación son numerosas y todas modifican la mineralización de N (Jarvis *et al.* 1996).

Las incubaciones de largo plazo en laboratorio son consideradas los métodos más confiables para estimar la mineralización de N en el suelo pero no son aptas como método de rutina para los laboratorios por su requerimiento de tiempo.

#### 1.7.4. Otras aproximaciones al N potencialmente mineralizable: las incubaciones anaeróbicas

Los esfuerzos para desarrollar métodos biológicos o químicos rápidos que correlacionen positivamente con la mineralización potencial de N de los suelos tienen una larga historia (Bremner, 1965; Keeney, 1982; Bundy y Meisinger, 1994; Mulvaney *et al.* 2006; Quemada y Diez, 2007; Griffin, 2008; Schomberg, 2009).

Una metodología para estimar el pool de N mineralizable es la incubación anaeróbica de la muestra de suelo y se mide el amonio producido en cortos períodos (Waring y Bremner, 1964). Se cuantifica el  $N-NH_4^+$  liberado en condiciones de anoxia luego de una incubación de 7 a 14 días en anaerobiosis por humedecimiento con agua. Varios autores han sugerido que una incubación anaeróbica de 7 días es un buen

indicador biológico de la disponibilidad potencial de N (Bushong *et al.* 2007, 2008; Soon *et al.* 2007).

El N incubado anaeróbicamente (Nan) es una estimación más rápida que el  $N_0$ , y también puede asociarse con la capacidad del suelo de mineralizar y aportar  $N-NO_3^-$  a los cultivos.

En Estados Unidos, Giannello y Bremner (1986b), encontraron una correlación estrecha ( $r$ : 0,96) entre el  $N_0$  de una incubación anaeróbica de 7 días y la incubación aeróbica de 84 días (12 semanas) para un amplio rango de suelos de Iowa. Inclusive Chan (1997) en suelos de pastura y bajo cultivo encontró una correlación muy estrecha ( $r$ : 0,94) entre estos dos métodos y estimó que el  $N_0$  era 2,25 veces mayor que el determinado por la incubación anaeróbica.

En nuestro país Echeverría *et al.* (2000) encontraron una estrecha relación ( $R^2$ : 0,92) entre el nitrógeno mineralizado durante incubaciones anaeróbicas de 7 y de 14 días en 23 suelos del sudeste bonaerense. Obtuvieron también un buen ajuste ( $R^2$ : 0,65) entre las determinaciones de  $N_0$  y de Nan estableciendo una relación de:  $N_0$ :  $1,37 * Nan + 83,17$  para esas mismas muestras. En función de esos resultados y teniendo en cuenta que esta asociación no varió en función de los años y de los sistemas de labranza recomiendan el empleo del Nan con incubaciones de 7 días de duración como una alternativa económica y sencilla para estimar el  $N_0$ . Consideran que es especialmente útil cuando el sitio en cuestión tiene una escasa historia agrícola o cuando el antecesor inmediato es una pastura (Echeverría *et al.* 2005).

En suelos de Entre Ríos, Benintende *et al.* (2007), encontraron una correlación positiva entre  $N_0$  y Nan ( $r$ : 0,86). El modelo lineal ajustado para estimar  $N_0$  a partir del Nan fue  $1,131 Nan + 55,28$  ( $R^2$ : 0,74). Las diferencias entre  $N_0$  real y estimado fueron de 10%. Para el N mineralizable en condiciones de temperatura y humedad a campo

durante el ciclo de un cultivo, estas diferencias representaron entre 4 y 10 kg de N ha<sup>-1</sup>. Se concluye que el Nan permitió apreciar diferencias entre suelos y manejos diferentes y su empleo es factible de utilizar como técnica rápida y sencilla para estimar N<sub>0</sub>.

También en ambientes de Entre Ríos, Faccendini *et al.* (2008) reportaron una elevada correlación entre el N proveniente de la mineralización (estimado por balance en parcelas sin N) y el Nan, lo que sugiere que el mismo podría contribuir a mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de N.

Genovese *et al.* (2009) encontraron que el Nan fue muy sensible a las diferencias de manejo en un ensayo de labranzas y fertilización de larga duración encontrando diferencias significativas entre tratamientos. También Wyngaard *et al.* (2010) encontraron valores superiores en el Nan en los primeros 5 cm del suelo en sitios de SD comparados con labranza convencional en un ensayo de labranzas y fertilización de 10 años de duración acorde con el mayor contenido de carbono orgánico en ese estrato. No encontraron diferencias entre sistemas de labranza de 5 a 20 cm. Tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos de fertilización en los contenidos de CO ni de Nan.

Cozzoli *et al.* (2010) encontraron valores más altos de Nan en sistemas de cultivo con pasturas y en segundo lugar con SD en comparación con sistemas de labranza convencional. Las diferencias fueron más marcadas en los primeros 5 cm de perfil del suelo.

Zagame *et al.* (2010) encontraron que el Nan no mostró una variación estacional en un ensayo de labranzas y fertilización en las capas de 0 a 5 cm y de 0 a 20 cm. Se observó un leve incremento de los valores de Nan hacia la primavera en el estrato de 5 a 20 cm. También encontraron mayores valores de Nan en los tratamientos con SD.

Recientemente Pegoraro *et al.* (2012) encontraron que la determinación de  $\text{NH}_4^+$  después de la incubación de 7 días por el método de destilación presentó valores más homogéneos y con menor dispersión que las determinaciones por colorimetría, lo que permitió detectar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

#### 1.7.5. Otras aproximaciones al N mineralizable: el EUF en Europa y el ISNT en EEUU

En Alemania y Austria se ha difundido el método EUF: Electro Ultra Filtrado (Mengel *et al.* 2006) para estimar la oferta de N para los cultivos de trigo que utiliza ClCa como extractante. El método determina el contenido de fracciones inorgánicas de N, nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), así como amino azúcares y oligo péptidos de bajo peso molecular.

Como ya se mencionó en EEUU se ha difundido en algunas regiones el llamado ISNT (Illinois Soil Nitrogen Test) (Khan *et al.* 2001). Este método determina de manera sencilla y de baja tecnificación los amino-azúcares nitrogenados mediante hidrólisis alcalina suave del suelo siendo así un estimador del N que se podrá mineralizar durante el crecimiento del cultivo. Muchos productores de Illinois y de Carolina del Norte, Williams *et al.* (2005) ya han adoptado el ISNT y varios laboratorios comerciales ofrecen el servicio de análisis. Sin embargo en el resto de los estados de EEUU, el ISNT no tuvo buenos resultados (Mulvaney *et al.* 2006) y por lo tanto, la determinación de N de  $\text{NO}_3^-$  en presembrado y el PSNT siguen usándose en forma rutinaria. En Balcarce, Argentina, Genovese *et al.* (2009) encontraron resultados poco alentadores con el ISNT.

En suelos agrícolas de Bélgica, Kader *et al.* (2010) encontraron que el N aportado por el suelo estaba correlacionado con tres variables: la MOP (mayor a 250  $\mu\text{m}$ ), con el porcentaje de C de la fracción fina (ligada a la arcilla + el limo) y con la relación C:N de esta última fracción. Los autores sostienen que una combinación de fraccionamiento

físico y determinaciones químicas podrían constituir las mejores alternativas para estimar la capacidad de mineralización de N del suelo.

#### 1.8. La utilización conjunta de medidas de N disponible y de N potencialmente mineralizable para determinar necesidades de N

Según Echeverría *et al.* (2014) el uso combinado del Nan junto con el de  $\text{NO}_3^-$  es especialmente válido para los suelos del SE bonaerense con elevados contenidos de MO y elevados potenciales de mineralización y con temperaturas más frías que en el Norte de la Región Pampeana

En suelos del sudeste bonaerense, Calviño y Echeverría (2003) encontraron correlación negativa entre el Nan y la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo del maíz. En suelos con Nan menor a  $48 \text{ mg kg}^{-1}$ , se produce una disminución de 1,38% en la respuesta al agregado de N por cada incremento de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de Nan. En sitios con Nan mayor a  $48 \text{ mg kg}^{-1}$  no se registraron incrementos de los rendimientos por la fertilización con N. En los sitios en que los rendimientos de maíz fueron mayores a  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  la respuesta se explica por un modelo similar; en este caso se produjo una disminución de 1,8% en la respuesta al agregado de N por cada incremento de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de Nan hasta  $47,3 \text{ mg kg}^{-1}$ .

En un trabajo posterior realizado en la misma zona (Calviño *et al.* 2005), las determinaciones de Nan permitieron mejorar la precisión de los umbrales. Así para suelos con Nan menor a  $48 \text{ mg kg}^{-1}$ , el umbral de N en el suelo debiera ser  $162 \text{ kg N (suelo + fertilizante) ha}^{-1}$ , mientras que en sitios con Nan mayor a  $48 \text{ mg kg}^{-1}$  la disponibilidad inicial suficiente sería  $131 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

En la misma red de ensayos la utilización del PSNT o sea el nivel de  $\text{N-NO}_3^-$  en suelo a la profundidad de 0 a 30 cm en V<sub>6</sub> permitió separar mejor las poblaciones y

ajustar el diagnóstico. Cuando se separaron los lotes de acuerdo al Nan aquellos con Nan menor a  $48 \text{ mg kg}^{-1}$  a la siembra la correlación del PSNT con el RR fue más alta ( $R^2$ : 0,68) mientras que aquellos con Nan mayor a ese valor la correlación fue menor ( $R^2$ : 0,34). Los valores críticos de PSNT (nivel de  $\text{N-NO}_3^-$ ) para alcanzar un RR de 95% fueron de 92 y  $122 \text{ kg ha}^{-1}$  para altos y bajos Nan respectivamente (Calviño *et al.* 2005). Los autores afirman que los dos momentos de muestreo de nitratos explican en forma aceptable los incrementos de rendimiento por la fertilización y por lo tanto pueden ser de utilidad para el diagnóstico.

En otra red de nueve ensayos de maíz en la Región Pampeana Central, no se encontró asociación entre esas determinaciones y la respuesta a N (Echeverría *et al.* 2006). En este caso la determinación de Nan no contribuyó a mejorar la capacidad de diagnóstico de la disponibilidad inicial de N. Ello fue atribuido a las características de los sitios con una prolongada historia agrícola que ocasionaron un escaso aporte de N por mineralización y donde los valores de Nan encontrados fueron mayoritariamente menores al umbral anteriormente mencionado de  $48 \text{ mg kg}^{-1}$ .

En una red en el sur de la Región Pampeana Argentina, Sainz Rozas *et al.* (2008) determinaron que la medición conjunta del contenido de N de  $\text{NO}_3^-$  y Nan en suelo mejoró la estimación de la disponibilidad de N para el cultivo, tanto a la siembra como en  $V_6$ ). Además se observó mayor contribución parcial del Nan para el muestreo a la siembra respecto a  $V_6$ . Los autores señalan las dosis de N a aplicar en función del contenido de N de  $\text{NO}_3^-$  determinado al momento de la siembra (0-60 cm) y al estadio de seis hojas (0-30 cm) y del Nan. La separación de lotes por bajo o alto valor de Nan modificó los umbrales de respuesta a la fertilización, mostrando los suelos con alto Nan un umbral de respuesta más bajo que aquellos con bajo Nan.



En suelos con contenidos de arena superiores al 62% en el sur de Santa Fe, Reussi Calvo *et al.* (2012a), encontraron que la determinación del Nan permitió identificar ambientes con diferente potencialidad dentro de un mismo lote. Por otra parte, la disponibilidad inicial de N (suelo + fertilizante) explicó el 42% de la variación en el rendimiento. Sin embargo, cuando se incorporó el Nan dicha variación fue explicada en un 57%.

En trigo Reussi Calvo *et al.* (2012b) encontraron que la disponibilidad inicial de N explicó el 39% de la variación en el rendimiento, sin embargo, se incrementó al 58% cuando se incorporó el Nan. Inclusive aclaran los autores que en lo que hace al N exportado en grano la contribución parcial del Nan fue superior que la de N de  $\text{NO}_3^-$  (32 y 19% para Nan y N de  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente)

Con la utilización de los valores de Nan transformados por el factor 3,6 para estimar los kg de N  $\text{ha}^{-1}$  aportados durante el ciclo del cultivo de maíz, Reussi Calvo *et al.* (2013b), consiguieron mejorar el ajuste de los modelos cuadráticos para las zonas del sur de Santa Fe, Carmen de Patagones y Balcarce. Así mientras la disponibilidad inicial de N (suelo + fertilizante) explicó el 53, 84 y 57 % de la variación en el rendimiento del cultivo para esas zonas respectivamente, cuando se incorporó el Nan, la disponibilidad de N del suelo ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N fertilizante} + \text{Nan}$ ) explicó el 60, 88 y 70 % de la variación del rendimiento para las mismas zonas. Esto representó una mejora en el ajuste del modelo de diagnóstico de N en presembrado de un 7, 4 y 13 %.

En un trabajo reciente, Orcellet *et al.* (2015a), determinaron la mineralización neta del suelo para cultivos de maíz en el Sudeste de Buenos Aires (SEB) y para cultivos de siembra temprana y de siembra tardía en la Región Pampeana Norte (RPN). El Nan correlacionó positivamente con el N mineralizado durante el ciclo del cultivo en las tres situaciones. Al comparar las pendientes de los modelos propuestos para la RPN

(siembras tempranas y tardías), no se determinó diferencia significativa. Sin embargo, se determinó que dichos modelos difieren significativamente en la ordenada al origen y esto se explicaría en parte por la mayor temperatura media en los maíces tardíos y mejores condiciones hídricas respecto a tempranos que determina una mayor mineralización de N en maíces tardíos respecto a tempranos. Se pudo establecer la oferta de N para las dos zonas geográficas con el uso de diferentes algoritmos. La incorporación del Nan al contenido inicial de N del suelo a la siembra contribuyó significativamente a explicar la variación del rendimiento del testigo sin N para ambas zonas y fechas de siembra. La explicación de la variación de rendimiento pasó de 14 a 33%, de 23 a 72% y de 36 a 68% en el SE de Bs AS, en la RPN en siembras normales y en la RPN en siembras tardías respectivamente (Orcellet *et al.* 2015b). Se determinó menor aporte parcial del Nan en el SEB. Esto se explicaría en parte por la menor disponibilidad hídrica en algunos sitios del SEB, que posiblemente haya limitado el rendimiento del 0N y el aporte por mineralización de N. Las escasas precipitaciones en el período de barbecho (40 mm) en maíces tempranos del NRP redujeron la incidencia relativa del N en presiembra, cobrando mayor importancia el N mineralizado. Dentro del NRP al comparar entre fechas de siembra, se determinó menor contribución parcial del Nan al N a la siembra en siembras tardías lo cual se explicaría por una mayor mineralización en el período de barbecho debido a la mayor temperatura media.

1.9. Utilización conjunta de medidas de N disponible y de N potencialmente mineralizable en el sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires para determinar necesidades de N

A diferencia de los antecedentes hasta aquí expuestos, con excepción de los trabajos citados de Echeverría *et al.* (2006), Reussi Calvo *et al.* (2012, 2013b, 2014a y 2014b) y

Orcellet *et al.* (2015a y 2015b), y pese a su importancia productiva para el cultivo de maíz, las regiones de suelos Argiudoles del sur de Santa Fe y la de Hapludoles del noroeste de Buenos Aires carecen de modelos que integren el N disponible (fertilidad actual) y el N potencialmente mineralizable (fertilidad potencial), que es una fuente no menor de N para el cultivo. La posibilidad de integrar los valores de MO total, la MO joven, la relación MO/textura y los valores de Nan permitiría determinar con mejor ajuste las necesidades de fertilización en cada sitio específico ya que se considera que altos niveles de Nan, de MOJ, de MOT o del Índice MOT /a+1 se corresponden con un mayor rendimiento de los suelos sin fertilización nitrogenada adicional y con menor respuesta al agregado de nitrógeno.

## 2. Hipótesis de trabajo y objetivos de la tesis

La hipótesis planteada en esta tesis es que algunos estimadores de la fertilidad potencial del suelo que reflejan los aportes de N a lo largo de la estación de crecimiento como el N incubado anaeróbico (Nan), la MO joven (MOJ), la MO total (MOT) y la relación MOT con el contenido de arcilla y limo (Índice  $MOT/a+1$ ), permiten una mejor estimación de la oferta de N al cultivo respecto a los modelos que solo consideran el contenido de  $N-NO_3^-$ .

La hipótesis plantea también si esta respuesta es similar para los suelos limo arcillosos con B textural Argiudoles de sur de Santa Fe que para los suelos franco arenosos sin limitaciones en profundidad Hapludoles del NO de Buenos Aires.

Si la hipótesis es aceptada en las dos zonas o en alguna de ellas, estas variables podrían utilizarse como elementos adicionales al contenido de N inicial del suelo a la siembra para la predicción de los requerimientos de N de los cultivos de maíz.

Para responder a estas hipótesis se plantea como objetivo general la realización de ensayos de campo en cultivos de maíz en Hapludoles del noroeste (NO) de Buenos Aires y en Argiudoles del sur de Santa Fe donde se evalúen metodologías de diagnóstico que colaboren con la estimación de las dosis de N necesarias para alcanzar el máximo beneficio económico de los cultivos.

### 3. Materiales y métodos.

#### 3.1. Áreas de estudio.

En las campañas 2005/06 y 2006/07 se realizaron un total de 20 ensayos de fertilización de maíz, 11 en el sur de Santa Fe sobre suelos Argiudoles franco limosos con horizonte B textural y 9 en el noroeste (NO) de la provincia de Buenos Aires sobre suelos Hapludoles franco arenosos sin limitaciones en profundidad. En las campañas 2008, 2009 y 2011, se realizaron 60 ensayos complementarios en las mismas áreas (28 ensayos en el sur de Santa Fe, 1 ensayo en Fontezuela noreste (NE) de Buenos Aires - Pampa Ondulada y 30 ensayos en el noroeste (NO) de Buenos Aires y 1 ensayo en el sureste de Córdoba - Pampa Arenosa). La información que se presenta es la que surge de los 20 ensayos primeramente realizados y solo se presentan algunos resultados de los ensayos complementarios que dan claridad a los conceptos expuestos.

Los ensayos en el sur de Santa Fe se realizaron en los departamentos Constitución e Iriondo. El departamento Constitución se encuentra en la región que se denomina Pampa Ondulada. El departamento Iriondo se encuentra inmediatamente al norte de esa región lindando con el río Carcarañá que se considera el límite norte de la Pampa Ondulada.

Los ensayos en el NO de Buenos Aires se realizaron en los partidos de Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto y Florentino Ameghino. Estos partidos se encuentran en el norte y noreste de la llamada Pampa Arenosa.

En el mapa de la Figura 2 se puede observar la ubicación geográfica de los sitios de ensayo. En el Anexo 1 de esta tesis se encuentran caracterizados el clima y los suelos de ambas zonas de estudio: la Pampa Ondulada y la Pampa Arenosa.

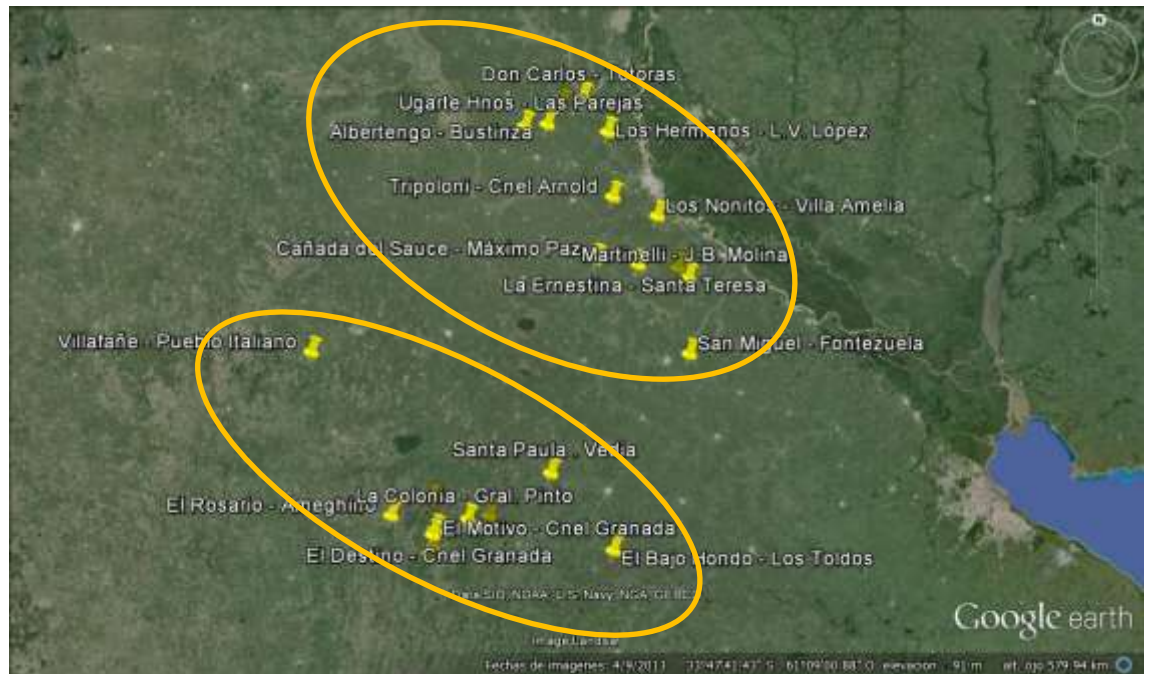


Figura 2: Ubicación geográfica de los sitios donde fueron establecidos los ensayos de fertilización en maíz. Las dos elipses marcan los dos tipos de suelos. Elipse superior corresponde a la zona de suelos Argiúdoles del sur de Santa Fe. Elipse inferior corresponde a los suelos Haplúdoles del NO de Buenos Aires.

### 3.2. Ensayos campañas 2005/06 y 2006/07 y ensayos complementarios. Generalidades y tratamientos

En cada una de las dos áreas geográficas mencionadas se buscaron sitios destinados al cultivo de maíz con varios años de agricultura continua ( $> 15$  años) y sitios con pasturas cercanas en la historia del lote ( $< 5$  años de agricultura). El objetivo fue identificar lotes comprendidos en un amplio rango de variación en los contenidos de MOT, en el índice  $\text{MOT/arcilla} + \text{limo}$ , en la MO joven y en los niveles de Nan.

Los ensayos se realizaron en micro parcelas y tuvieron un diseño de bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones y parcelas de  $52,5 \text{ m}^2$  (10 hileras de maíz distanciadas a 52,5 cm por 10 m de largo).

Los ensayos se establecieron en medio de lotes de producción de maíz que tenían varios años en un sistema de siembra directa permanente. Preferentemente se buscaron sitios con antecesor trigo/soja de segunda.

Luego de la siembra se aplicaron dosis fijas crecientes de N, usando urea (46-0-0) como fertilizante. En las campañas 2005/06 y 2006/07 las dosis fueron de 50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. Esto permitió encontrar en cada sitio la dosis de máxima eficiencia agronómica. Las dosis fijas de N se suman a los valores de N disponible en el suelo por lo que se obtuvieron 5 datos de N disponible en el suelo (suelo + fertilizante) a los cuales les correspondió 5 datos de rendimiento.

#### Ensayos complementarios

En las campañas 2008/09, 2009/10 y 2011/12 se realizaron 60 ensayos complementarios también en microparcels y en las mismas áreas geográficas. En la campaña 2008/09 los ensayos fueron con un diseño similar a las campañas anteriores. En la campaña 2009/10 las dosis de N fueron las necesarias, luego de determinar el N inicial, como para llevar el suelo (0 a 60 cm) a 100, 125, 150, 175, 200, 225 y 250 kg ha<sup>-1</sup> de N.

En la campaña 2011/12 se realizaron 32 ensayos complementarios. En cada sitio o lote de producción se marcó en un área homogénea una microparcels testigo sin fertilización nitrogenada de 15 m de ancho por 30 m de largo pero manteniendo constantes los otros parámetros del lote de producción. Inmediatamente al lado de esa parcela se marcó otra de la misma medida donde se adicionó una alta dosis de N en forma de urea (200 kg ha<sup>-1</sup> de N) para llegar hasta un nivel cercano a los 300 kg ha<sup>-1</sup> (N final suelo + fertilizante). Cada sitio geográfico o lote de producción con sus correspondientes parcelas testigo sin N y fertilizada con N se consideró una repetición al realizar el análisis estadístico.

En la Tabla 1 se observa un esquema de las dosis de N para cada campaña agrícola y el número de ensayos realizados.

Tabla 1: esquema de dosis de N en los ensayos en las campañas analizadas.

Ensayos	Campaña	Dosis	Dosis de N ha <sup>-1</sup>	N° de ensayos
Ensayos	2005/ 06 y 2006/07	Dosis fijas que se suma al N de suelo inicial	Dosis fijas de 50 – 100 – 150 – 200 kg ha <sup>-1</sup> de N adicionado al N del suelo	11 sur de Santa Fe y 9 en NO Bs As
Ensayos complementarios	2008/09	Dosis fijas que se suma al N de suelo inicial	Dosis fijas de 50 – 100 – 150 – 200 kg ha <sup>-1</sup> de N adicionado al N del suelo	1 sur de Santa Fe y 3 en NO Bs As
	2009/10	Dosis variables para alcanzar los niveles de N indicados en función del N inicial	Dosis variables para alcanzar los niveles de 100 – 125 – 150 – 175 – 200 – 225 – 250 kg ha <sup>-1</sup>	12 en sur de Santa Fe y 12 en NO Bs As
	2011/12	Dosis fija que se suma al N de suelo inicial	Dosis fija de 200 kg ha <sup>-1</sup> de N adicionado al N del suelo	16 en sur de Santa Fe y 16 en NO Bs As

En todos los casos la urea se incorporó entre líneas de maíz a 5 cm de profundidad. Los ensayos recibieron el mismo tratamiento que los lotes de producción donde se instalaron y se cosecharon en forma manual dos surcos centrales de cada parcela (10 m<sup>2</sup>/ parcela). La trilla se realizó con una máquina estacionaria. Se corrigió el rendimiento final de acuerdo a la humedad de cosecha llevando el mismo a 14,5% de humedad y se determinó el rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>. El rendimiento relativo (RR) se calculó como la relación entre el rendimiento promedio de cada tratamiento (de las cuatro repeticiones)



y el rendimiento promedio de la dosis más elevada de N. La respuesta al N se calculó como la diferencia entre el rendimiento del tratamiento testigo versus el rendimiento a la dosis máxima de N

En la Tabla 2 se indican los detalles de fecha de siembra e híbridos para los ensayos de campo. En el Anexo 5 se detalla la información de los ensayos complementarios.

Tabla 2: Sitio de los ensayos de campo, híbrido de maíz utilizado y fecha de siembra.

Campo	Híbrido	Fecha siembra
2005/2006		
Las Parejas Ug L 5	AX 882	10/09/2005
Las Parejas Ug L6	AX 895 MG	08/09/2005
Sta Teresa LE L15	AX 882	12/09/2005
Sta Teresa LE L17	AX 882 MG	21/09/2005
Sta Teresa LE L3 4 C	AX 882	08/09/2005
J.B. Molina La Merced	AX 882	19/09/2005
J.B. Molina La Noria	AX 882	18/09/2005
2006/2007		
Las Parejas Ug L7	DK 747 MG	12/09/2006
Las Parejas SI sur	AX 882 MG	05/10/2006
Sta Teresa L 12 Polo	DK 747	18/09/2006
J.B. Molina La Merced	AX 882	12/10/2006
2005/2006		
Ameghino ER L 9	P 30R76	25/09/2005
Ameghino ER L 15	NK 900 TDMx	27/09/2005
Ameghino IL Lote 2	P 31B18	08/10/2005
Gral Pinto SF L 24 S	NK 900	21/09/2005
Gral Pinto LA L5	P 31B18	15/09/2005
2006/2007		
Ameghino ER L6 (a Sj1)	DK 722 NG	28/09/2006
Gral Pinto SF L 23 N	AX 882 MG	24/09/2006
Ameghino IL L8 O	AX 882 MG	26/09/2006
Ameghino EG L 12	LT 625	27/09/2006

### 3.3. Determinaciones de los ensayos.

Previo a la implantación de los cultivos, se tomaron muestras de suelo de 0 a 6 cm, 6 a 12 cm y 12 a 18 cm de profundidad para determinar los contenidos de materia orgánica (Walkley y Black, 1934), en el total de la muestra (<2 mm) (MOT) y en las fracciones granulométricas: materia orgánica joven (MOJ) o particulada (MOP) (50-

2000  $\mu\text{m}$ ) obtenidas por tamizado en húmedo (Andriulo *et al.* 1990; Quiroga *et al.*, 1996). En estas muestras se determinó densidad aparente para establecer la masa de suelo y los correspondientes contenidos de MO.

Previo a la implantación de cultivos también se tomaron muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad donde se determinó pH actual (Potenciometría relación Suelo: Agua 1:2,5); P disponible con extractante Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945); N anaeróbico incubado (Nan) durante 7 días (Gianello y Bremner, 1986a; Echeverría y Bergonzi, 1995; Echeverría *et al.* 2000); textura mediante el hidrómetro de Bouyucous (Bouyucous, 1962). En las mismas muestras de 0 a 20 cm se determinó la susceptibilidad a la compactación y umbral hídrico de máxima sensibilidad y la densidad aparente máxima (DA max) ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de la prueba Proctor (ASTM D 698.91).

En muestras de 0 a 60 cm de profundidad, en intervalos de 20 cm, se midió el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  (Método del ácido fenoldisulfónico, West y Ramachandran, 1966).

Se midió el contenido de humedad y agua útil a la siembra hasta los 160 cm de profundidad en intervalos de 20 cm (método gravimétrico). Se registraron las precipitaciones diarias.

Las determinaciones realizadas en los ensayos complementarios fueron similares a las que se realizaron en los ensayos de la primera etapa de trabajo. La diferencia más importante de lo actuado en las campañas 2008/09, 2009/10 y 2011/12, fue que en estas campañas se extrajeron muestras compuestas de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, donde utilizando las técnicas descriptas, se determinó contenido de MOT, MOJ, Nan y textura. En muestras de 0 a 60 cm de profundidad se determinó contenido de  $\text{N} - \text{NO}_3^-$ . Se determinó AUS (agua útil a la siembra) hasta los 200 cm de profundidad.

En la campaña 2011/12 además de realizar la cosecha manual y trilla de espigas se cosecharon 4 plantas, desde la base del tallo, representativas del tratamiento testigo sin fertilizante nitrogenado y 4 plantas del tratamiento fertilizado. Se midió la producción de materia seca particionada en tallo, hojas, marlo y grano y se determinó el N en planta y grano. El N en planta se determinó por el método de Dumas (Jung *et al.*, 2003) mediante un analizador TruSpec CN (LECO, 2010).

Las determinaciones de MOT, MOJ y textura se realizaron en el laboratorio del Inta Anguil (campañas 2005/06, 2006/07 y 2008/09) en el laboratorio Consultagro (campaña 2009/10) y en el laboratorio de la Universidad Nacional de Bahía Blanca (campaña 2011/12). El N en planta y grano se determinó en el laboratorio Suelofértil de ACA Pergamino, las determinaciones de Nitrógeno de nitratos en el laboratorio LAI de Rosario y las determinaciones de Nan en el laboratorio Fertilab de Mar del Plata.

### 3.4. Caracterización climática de las campañas agrícolas

Las campañas agrícolas en que se realizaron los ensayos tuvieron características disímiles entre sí. Con el propósito de tener una evaluación global de cada una de ellas se utilizó la clasificación que realiza el National Center for Environmental Prediction y el National Weather Service dependiente del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de EEUU. El NOAA clasifica los distintos períodos de cada año con la preponderancia de efecto Niño, Niña o neutro. Con este propósito el NOAA registra las temperaturas del Océano Pacífico Ecuatorial en la región Niño 3.4 (5° N – 5°S, 120 O – 170O). Desde el año 1950 a la fecha (67 campañas agrícolas) ha habido 19 episodios de año Niña (28% de los casos), 24 episodios de año neutro (36%) y 24 episodios de año Niño (36%) (NOAA, 2016)

En la Tabla 3 se detallan los períodos de estudio en las que se desarrollaron las campañas agrícolas de ensayos con los respectivos índices ONI (Oceanic Niño index) y la calificación climática del fenómeno ENSO (El Niño Southern Ocean Oscilation) resultante:

Tabla 3: Período de estudio, índice ONI promedio del período y calificación del fenómeno. Entre paréntesis se indica el valor más alto del período en año Niño y el valor más bajo en año Niña. Resaltados en negrita están los años en que se realizaron ensayos.

Período	índice ONI	Calificación
<b>OND 2005 a FMA 2006</b>	<b>-0,68 (-0,9)</b>	<b>Año Niña</b>
<b>OND 2006 a FMA 2007</b>	<b>+0,58 (+1,0)</b>	<b>Año Niño</b>
OND 2007 a FMA 2008	-1,36 (-1,5)	Año Niña
<b>OND 2008 a FMA 2009</b>	<b>-0,64 (-0,8)</b>	<b>Año Niña</b>
<b>OND 2009 a FMA 2010</b>	<b>+1,38 (+1,6)</b>	<b>Año Niño</b>
OND 2010 a FMA 2011	-1,30 (-1,5)	Año Niña
<b>OND 2011 a FMA 2012</b>	<b>-0,80 (-1,0)</b>	<b>Año Niña</b>

Fuente: NOAA.

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/ensodisc.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.html)

En los años calificados como Niña las precipitaciones en la Región Pampeana son en general inferiores al promedio de la serie histórica. Los años calificados como Niño en general la Región Pampeana recibe precipitaciones superiores al promedio de la serie. Los años calificados como Neutro, la Región recibe precipitaciones dentro del promedio de la serie histórica.

### 3.5. Análisis de resultados

Se realizó análisis conjunto multivariado de componentes principales, (Di Rienzo *et al.* 2014). También análisis de regresión lineal múltiple entre las variables rendimiento de grano y respuesta en grano a la fertilización nitrogenada y las variables predictivas

MOT, MOJ, Nan, índice MOT/a+1, precipitaciones, AUS, etc (Draper y Smith, 1998) mediante el sistema Infostat (Di Rienzo *et al.* 2014).

En cada sitio de ensayo se hizo el análisis de la varianza y el Test de Tuckey. Si bien existen modelos superadores como el modelo esférico o el cuadrático plateau (Salvagiotti *et al.* 2011) con los resultados de cosecha se ajustó el modelo cuadrático del tipo  $y: a + bx + cx^2$ . Los resultados del análisis estadístico y los coeficientes a, b y c se muestran en la Tabla 12.

Para el análisis económico del costo de la fertilización con N se tomaron los valores históricos de la urea y del valor FAS del maíz de los últimos diez años. También se tuvieron en cuenta los valores promedio de los costos de aplicación de urea, de cosecha y de comercialización del maíz. Estos valores arrojaron que en el promedio de los años la relación es de 13:1. Esto significa que en el promedio de los años es necesario cosechar 13 kg de maíz para pagar 1 kg de N que se adicione al suelo.

Con los coeficientes a, b y c se estableció en cada sitio la dosis de N donde el rendimiento es máximo ( $x_{max}$ ) o sea en donde la curva de correlación se hace horizontal y que corresponde al punto en que  $\delta y / \delta x = 0$  esto es donde la derivada del ingreso marginal es cero.

Teniendo en cuenta la relación de precios maíz: nitrógeno de 13:1 se estableció para cada sitio el punto en que la relación  $\delta y / \delta x$ : 13. Este punto es el  $x_{económico}$  o sea donde se maximiza el uso de N y a partir del cual comienza a disminuir la renta por ha de esta práctica. La producción estimada de maíz en ese punto de acuerdo a la ecuación  $y: a + bx + cx^2$  figura en la Tabla 12 como  $y_{económica}$  (y econ).

Se estimó también el rendimiento de maíz en función del nivel de N original del suelo. Este sería el  $y_{testigo}$ . Es una estimación del rendimiento de maíz sin N.

Con el  $y_{econ}$  y el  $y_{testigo}$  se estimó la respuesta económica ( $Rta_{econ}$ ) en  $kg\ ha^{-1}$  de maíz que es la diferencia de rendimiento entre ambos. Finalmente se estimó para cada sitio la correspondiente eficiencia agronómica ( $Ef_{econ}$ ) de la práctica o sea los  $kg\ ha^{-1}$  de maíz adicionales producidos por cada  $kg$  de  $N$  agregado.

#### 4. Resultados

Los resultados obtenidos en los dos tipos de suelo en las dos zonas geográficas y que se muestran a continuación revelan diferencias en algunos parámetros y similitud en otros. Hubo asimismo incidencia diferente de las precipitaciones y del año climático Niño o Niña en las dos áreas. En el Análisis multivariado de componentes principales (AMCP) presentado en el punto 4.2.2. con todos los datos en conjunto se observa que las dos poblaciones, se diferencian marcadamente. Por esta razón se analizan los resultados de acuerdo a la taxonomía de los mismos.

##### 4. 1. Características edáficas. Campañas 2005/6 y 2006/7.

En la Tabla 4 se pueden observar los resultados para las determinaciones realizadas en los ensayos de de campo: fracciones texturales, textura y densidad aparente. También se detalla el total de agua útil a la siembra hasta 1,60 m y las precipitaciones en mm de octubre a enero. Por último se consignan el total de agua útil a la siembra más las precipitaciones durante el ciclo. En el anexo se presenta información complementaria a estas determinaciones.

Tabla 4: Sitios de ensayos de campo campañas 2005 y 2006 en el sur de Santa Fe y en el NO de Buenos Aires, fracciones texturales, Clases texturales: fal: franco arcillo limoso, f: franco, far: franco arenoso. textura, densidad aparente promedio (D Ap) 0 a 18 cm, Agua útil a la siembra (AUS) hasta 1,60 m. Lluvias en mm de Octubre a Enero. AUS más lluvias de Octubre a Enero. Datos de laboratorio Inta Anguil.

Campo	%			Tex	D Ap prom 0 - 18	AU Si 1,60 m	lluvias Oct En	AU si+ lluvias
	Arcilla	Limo	Arena					
2005/2006								
Las Parejas L5	26,9	55,1	18,0	fal	1,17	199	362	561
Las Parejas L6	30,6	51,8	17,6	fal	1,29	203	362	565
Sta Teresa LE L15	27,5	53,4	19,1	fal	1,21	201	279	480
Sta Teresa LE L17	24,4	55,1	20,5	fl	1,20	232	279	511
Sta Teresa LE L 3 4C	24,5	53,9	21,6	fl	1,23	232	279	511
J.B. Molina L a Merced	23,9	52,6	23,6	fl	1,21	239	205	444
J.B. Molina La Noria	28,3	53,5	18,2	fal	1,20	262	205	467
2006/2007								
Las Parejas L7	23,7	48,0	28,3	f	1,18	142	412	554
Las Parejas SI sur	26,4	51,2	22,3	fl	1,19	140	442	582
Sta Teresa L12 Polo	25,3	49,5	25,2	fl	1,21	224	711	935
J.B. Molina La Merced	26,9	50,0	23,1	fl	1,21	212	874	1086
Promedios sur Sta Fe	<b>26,2</b>	<b>52,2</b>	<b>21,6</b>		<b>1,21</b>	<b>208</b>	<b>401</b>	<b>609</b>
2005/2006								
Ameghino ER L9	16,2	39,2	44,5	f	1,26	273	341	614
Ameghino ER L 15	15,3	33,3	51,3	f	1,34	292	341	633
Ameghino IL L2	15,0	28,2	56,8	far	1,35	311	338	649
Gral Pinto SF L 24S	15,7	39,2	45,1	f	1,34	304	390	694
Gral Pinto LAL5	15,4	31,7	53,0	far	1,35	244	493	737
2006/2007								
Ameghino ER L6	11,1	27,0	61,9	far	1,30	237	461	698
Gral Pinto SF L 23 N	13,9	32,3	53,8	far	1,30	280	592	872
Ameghino IL L8 O	13,4	25,8	60,8	far	1,34	338	787	1125
Ameghino EG L 12	17,5	34,3	48,2	f	1,07	273	702	975
Promedios NO Bs As	<b>14,8</b>	<b>32,3</b>	<b>52,8</b>		<b>1,29</b>	<b>284</b>	<b>494</b>	<b>777</b>

El período de meses comprendido en la campaña 2005/06 fue calificado como año Niña y el correspondiente a la campaña 2006/07 como año Niño (Tabla 4). El promedio histórico zonal de precipitaciones para los meses de Octubre a Enero es de 411 mm. En 2005/06 en el sur de Santa Fe las precipitaciones en dos sitios fueron 50% menores a ese promedio, en tres sitios 32% menores y en dos sitios 12% menores a ese promedio. En 2006/07 las precipitaciones en los 4 sitios del sur de Santa Fe estuvieron por encima de ese promedio. En el NO de Buenos Aires en la campaña 2005/06 las precipitaciones



según los sitios fueron un 25% a 15% menores al promedio histórico de 456 mm y en la campaña 2006/07 las precipitaciones fueron un 8 % superiores a ese promedio histórico.

Para las dos campañas en conjunto en la zona de suelos Hapludoles los parámetros que hacen a la disponibilidad hídrica, AU a la siembra y lluvias de Octubre a Enero fueron superiores en un 37 y un 23% a los de suelos Argiudoles.

En la Tabla 5 se presentan los contenidos de MOT, el índice MOT/a+l, los valores de MOJ, el N del suelo a la siembra de 0 a 60 cm y el N incubado en forma anaeróbica (Nan) de la profundidad de 0 a 20 cm.

Tabla 5: Contenido de MOT en  $\text{Mg ha}^{-1}$ , % de MOT en % (0 a 18 cm) e Índice MOT/a+l, MOJ, N en el suelo a la siembra como  $\text{N-NO}_3^-$  de 0 a 60 cm en  $\text{kg ha}^{-1}$  y N incubado anaeróbico (Nan) de 0 a 20 cm en  $\text{mg kg}^{-1}$

Campo	MOT $\text{Mg ha}^{-1}$	%MOT 0-18	Indice MOT/a+l	MOJ $\text{Mg ha}^{-1}$ 0 a 18 cm	N $\text{kg ha}^{-1}$ 0 a 60 cm	Nan 0 a 20 cm (ppm)
2005/2006						
Las Parejas L5	67,3	3,25	4,0	10,5	108	51,1
Las Parejas L6	59,7	2,61	3,2	9,1	107	49,0
Sta Teresa LE L15	65,0	3,03	3,7	11,1	89	48,3
Sta Teresa LE L17	63,5	2,99	3,8	8,9	98	58,8
Sta Teresa LE L 3 4C	74,8	3,44	4,4	13,3	91	63,7
J.B. Molina L a Merced	52,5	2,44	3,2	8,5	66	42,7
J.B. Molina La Noria	55,3	2,58	3,2	9,0	96	42,7
2006/2007						
Las Parejas L7	56,9	2,75	3,8	10,6	60	68,0
Las Parejas SI sur	55,4	2,63	3,4	8,4	100	34,2
Sta Teresa L12 Polo	70,0	3,24	4,3	13,2	83	76,9
J.B. Molina La Merced	58,8	2,76	3,6	9,6	43	48,6
Promedios sur Sta Fe	<b>61,7</b>	<b>2,88</b>	<b>3,7</b>	<b>10,2</b>	<b>86</b>	<b>53,1</b>
2005/2006						
Ameghino ER L9	57,5	2,55	4,6	11,6	161	72,1
Ameghino ER L 15	61,0	2,57	5,3	15,7	108	44,1
Ameghino IL L2	60,2	2,51	5,8	13,4	95	56,0
Gral Pinto SF L 24S	56,6	2,42	4,4	12,8	66	48,3
Gral Pinto LA L5	56,6	2,36	5,0	8,4	37	38,5
2006/2007						
Ameghino ER L6	59,6	2,60	6,8	17,2	94	71,9
Gral Pinto SF L 23 N	62,2	2,72	5,9	13,9	149	61,0
Ameghino IL L8 O	60,4	2,55	6,5	13,3	66	54,9
Ameghino EG L 12	58,7	3,11	6,0	11,4	49	65,5
Promedios NO Bs As	<b>59,2</b>	<b>2,60</b>	<b>5,6</b>	<b>13,1</b>	<b>92</b>	<b>56,9</b>

Los valores de MOT encontrados en los sitios de ensayo son ligeramente superiores en promedio en los suelos Argiudoles en comparación con los Hapludoles con una masa de  $61,7 \text{ t ha}^{-1}$  versus  $59,2 \text{ t ha}^{-1}$ . En el caso del Índice MOT/a+1 los suelos Hapludoles poseen valores promedio de 5,6 con un rango de variación de 4,4 a 6,8. Los suelos Argiudoles poseen valores muy inferiores en esta variable con un valor promedio de 3,7 con un rango que varía entre 3,2 y 4,4.

El contenido de N de nitratos a la siembra y hasta los 60 cm también varió en un amplio rango, entre  $28 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $107 \text{ kg ha}^{-1}$  en Argiudoles y entre 37 y  $143 \text{ kg ha}^{-1}$  en Hapludoles. Los promedios de ambas zonas fueron similares en todas las campañas.

En cuanto a las otras variables que constituyen la *fertilidad potencial* del suelo como es la MOJ, los suelos Argiudoles poseen un valor promedio de  $10,2 \text{ t ha}^{-1}$  versus  $13,1 \text{ t ha}^{-1}$  en los Hapludoles. En el caso del Nan los valores son similares en ambas zonas de suelos Argiudoles y Hapludoles:  $53,1$  y  $56,9 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente. Los valores de los suelos Hapludoles coinciden con el rango de valores publicado por Reussi Calvo *et al.* 2014c.

En las Figuras 3, 4, 5 y 6 puede verse la correlación entre las distintas variables (MOT, Índice MOT/a+1, Nan y MOJ) en ambos suelos Argiudoles y Hapludoles:

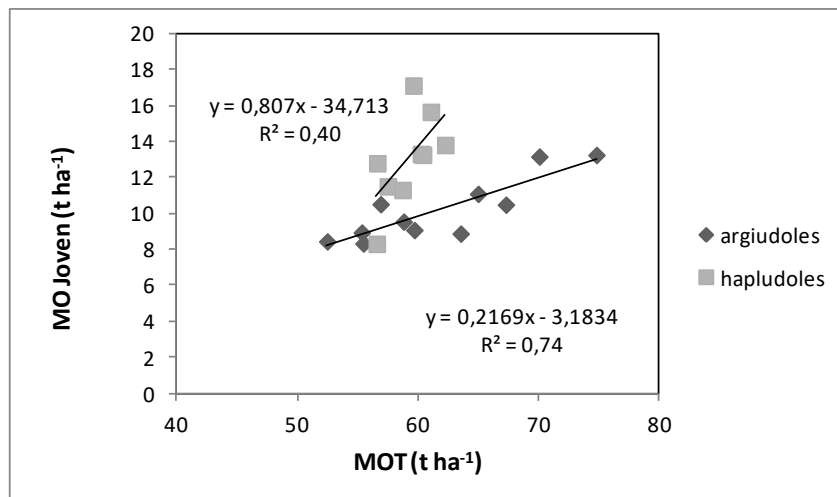


Figura 3: Relación de la MO Joven con el contenido de MOT en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados), campañas 2005/2006 y 2006/2007.

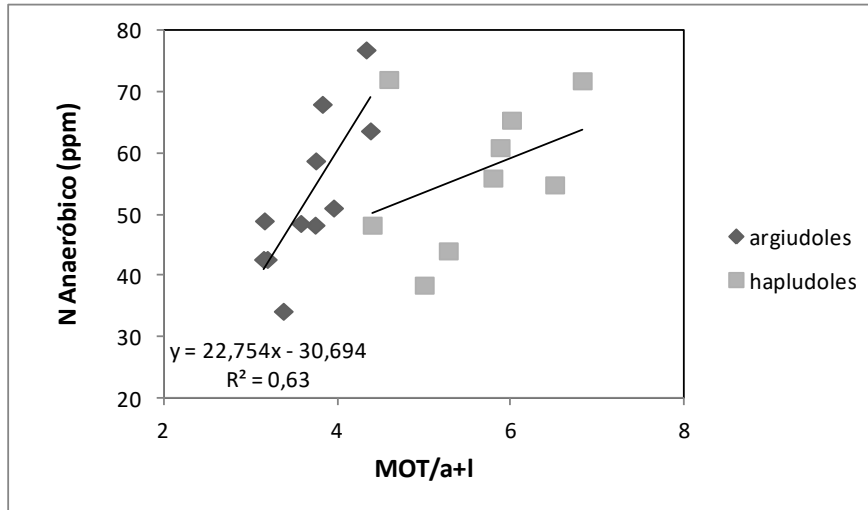


Figura 4: Relación entre el Nan con la MOT/a+l en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados), campañas 2005/2006 y 2006/2007.

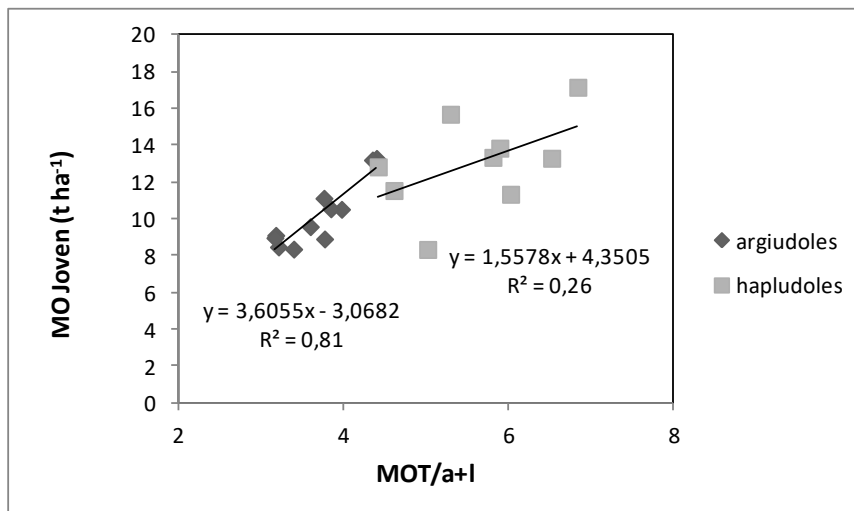


Figura 5: Relación entre la MO Joven con el Índice MOT/a+l en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados), campañas 2005/2006 y 2006/2007.

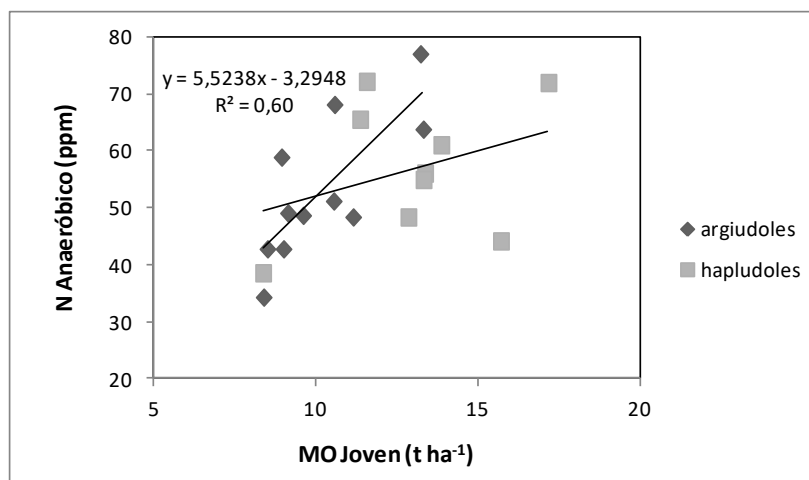


Figura 6: Relación entre el Nan con la MO Joven en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados), campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Las Figuras 3, 4, 5 y 6 muestran que hubo una gran variabilidad en las determinaciones, con sitios de elevado número de años de agricultura con bajos valores de MOT y MOJ y otros con poca historia de agricultura con valores más altos en esas variables.

Se observa en las Figuras y también en la Tabla 10 que en los suelos Argiudoles hubo una buena correlación entre sí de estas cuatro variables: MOT, MOT/a+1, el Nan y la MOJ. En el caso de los suelos Hapludoles solamente se observó correlación entre la MOT y la MOJ (Tabla 9).

#### 4. 2. Rendimiento de los cultivos.

En la Tabla 6 se muestra para cada sitio de ensayo los rendimientos obtenidos con cada uno de los tratamientos de nitrógeno: 0 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 100 kg ha<sup>-1</sup>, 150 kg ha<sup>-1</sup> y 200 kg ha<sup>-1</sup> en las dos campañas 2005/6 y 2006/7

Tabla 6: Rendimiento de maíz en kg ha<sup>-1</sup> según dosis de N de 0, 50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> en cada sitio de ensayo

Ensayo	Dosis de N en kg ha <sup>-1</sup>				
	N0	N50	N100	N150	N200
2005/2006					
Las Parejas Ug L 5	8509	10559	12078	11722	12935
Las Parejas Ug L6	5168	7124	8083	8167	8598
Sta Teresa LE L15	7229	8227	8615	10165	10183
Sta Teresa LE L17	7671	8926	9629	9879	9294
Sta Teresa LE L3 4 C	8156	9480	11238	11858	11920
J.B. Molina La Merced	3333	4391	4085	5061	5944
J.B. Molina La Noria	4359	5030	5177	5171	5174
2006/2007					
Las Parejas Ug L7	7706	10622	12264	12629	12622
Las Parejas SI sur	6059	7877	9252	10130	10144
Sta Teresa L 12 Polo	8979	11731	13106	13575	13995
J.B. Molina La Merced	6582	9433	10589	12067	11911
Promedio sur de Santa Fe	6705	8491	9465	10039	10247
2005/2006					
Ameghino ER L 9	14126	13702	13982	14534	13780
Ameghino ER L 15	10725	12049	12053	12935	12536
Ameghino IL Lote 2	9812	10549	12059	11997	11885
Gral Pinto SF L 24 S	9829	11026	12584	13054	13506
Gral Pinto LA L5	7549	11618	11636	12135	13176
2006/2007					
Ameghino ER L6 (a Sj1)	14476	14164	14751	14096	15012
Gral Pinto SF L 23 N	13683	14119	15424	15403	15330
Ameghino IL L8 O	10304	11924	13169	12402	13476
Ameghino EG L 12	9051	11220	12416	12375	12168
Promedio NO de Bs As	11062	12263	13119	13215	13430

Puede observarse en la Tabla 6 que asociado al amplio rango de variación de las variables de suelo y precipitaciones, se comprobó también un amplio rango de variación de los rendimientos en ambos tipos de suelos.

La zona de suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires tuvo rendimientos que en promedio fueron superiores en un 40,4% de los obtenidos en suelos Argiudoles del sur de Santa Fe con iguales dosis de N.

Los rendimientos de los cultivos sin N adicional en la zona de suelos Argiudoles promediaron 6705 kg ha<sup>-1</sup> oscilando entre 3333 kg ha<sup>-1</sup> hasta 8979 kg ha<sup>-1</sup> y los rendimientos con la máxima dosis de N promediaron 10247 kg ha<sup>-1</sup> oscilando entre

5174 kg ha<sup>-1</sup> hasta 13995 kg ha<sup>-1</sup> con los valores más altos en la campaña 2006/2007 (año Niño).

En el caso de los suelos Hapludoles los rendimientos de los cultivos sin N adicional promediaron 11062 kg ha<sup>-1</sup> oscilando entre 7549 kg ha<sup>-1</sup> hasta 14476 kg ha<sup>-1</sup> y los rendimientos con la máxima dosis de N promediaron 13430 kg ha<sup>-1</sup> oscilando entre 11885 kg ha<sup>-1</sup> hasta 15330 kg ha<sup>-1</sup> sin diferencias marcadas entre las dos campañas.

#### 4.2.1. Rendimiento del maíz en función del contenido de agua inicial y las lluvias

En la Tabla 5 se observan los niveles de agua útil a la siembra (AUS) y las precipitaciones de Octubre a Enero y en la Tabla 7 los rendimientos de los cultivos.

El AUS medido hasta los 160 cm del perfil en los ensayos exploratorios varió entre 140 mm y 262 mm en Argiudoles y entre 237 mm y 338 mm en Hapludoles. En promedio los Hapludoles mostraron valores 12 a 36 % mayores de disponibilidad de agua que los Argiudoles.

Se implementó el modelo [1] para verificar la relación entre estos parámetros para los tratamientos sin fertilizante nitrogenado adicional y el que recibió la dosis máxima de N.

$$R = \alpha + (\beta_1 * AUS+pp) * (AUS+pp < \gamma) + (\beta_1 * \gamma + \beta_2 * (AUS+pp - \gamma)) * (AUS+pp \geq \gamma) \quad [1]$$

Los parámetros del modelo se presentan en el Anexo 3.

Este modelo permitió inferir los valores de humedad umbral para los sitios fertilizados y sin fertilizar por encima de los cuales el rendimiento fue máximo. En los sitios sin N adicional con 663,2 mm el rendimiento máximo fue de 11456 kg/ha, mientras que los sitios que recibieron la dosis máxima de N se alcanzó un rendimiento máximo de 14296 kg/ha con 676,6 mm pudiendo unificarse el valor umbral para todos los sitios en 670 mm de AUS + pp. (Anexo 3).

Se observó una caída en los rendimientos con mayores niveles de agua disponible lo que indica que el plateau no se mantuvo constante. En función de esta evidencia se ajustó un modelo polinómico que determina un rango de disponibilidad de agua que permite mantener niveles máximos de rendimiento.

Se observa que la tendencia es al principio lineal y que en ese tramo de la curva el AUS más las precipitaciones explicaron 48% y el 55% del rendimiento del maíz sin N y con N respectivamente. Sin embargo, al comparar los tramos lineales del modelo [1] con y sin fertilizante nitrogenado adicional no se comprobaron diferencias significativas entre las pendientes de los tramos lineales ( $p: 0,83$ ). Estos resultados revelan que el aumento de rendimiento por mm de AUS+pp fue similar en ambos tratamientos. Tampoco se observaron diferencias en las ordenadas al origen ( $p: 0,76$ ) lo que indica que los rendimientos promedios cuando el nivel de AUS+pp es mínimo son similares. Por esta razón pueden exponerse todos los datos en un solo gráfico y establecer rangos de datos en forma conjunta (Figura 7).

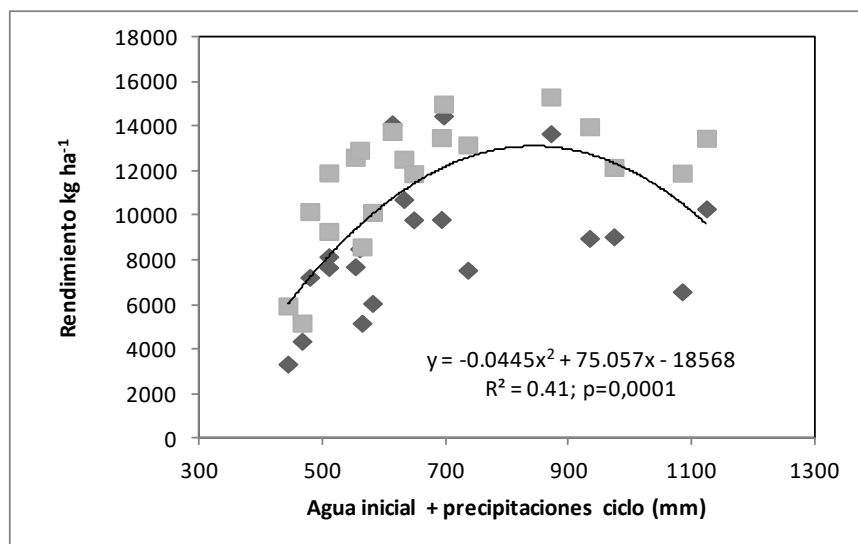


Figura 7: Rendimiento de maíz (kg ha<sup>-1</sup>) en función del contenido de agua inicial del suelo a 160 cm de profundidad más las precipitaciones octubre a enero. Modelo polinomial. Rombos: 20 sitios sin N adicional y cuadrados: 20 sitios con la dosis máxima de N. Se incluyen datos de Argiudoles y Hapludoles

Con este modelo polinómico único se estableció un valor de AUS + pp de 843 mm donde el rendimiento fue máximo y de 13081kg ha<sup>-1</sup>. Si se considera un variación del 10% del rendimiento para establecer un rango de humedad, los valores obtenidos a partir de la ecuación polinómica fueron de 670 a 1016 mm AUS+pp.

#### 4.2.2. Análisis multivariado de componentes principales (AMCP).

En la Figura 8 se puede observar el gráfico biplot de componentes principales de los dos suelos Argiúdoles y Haplúdoles.

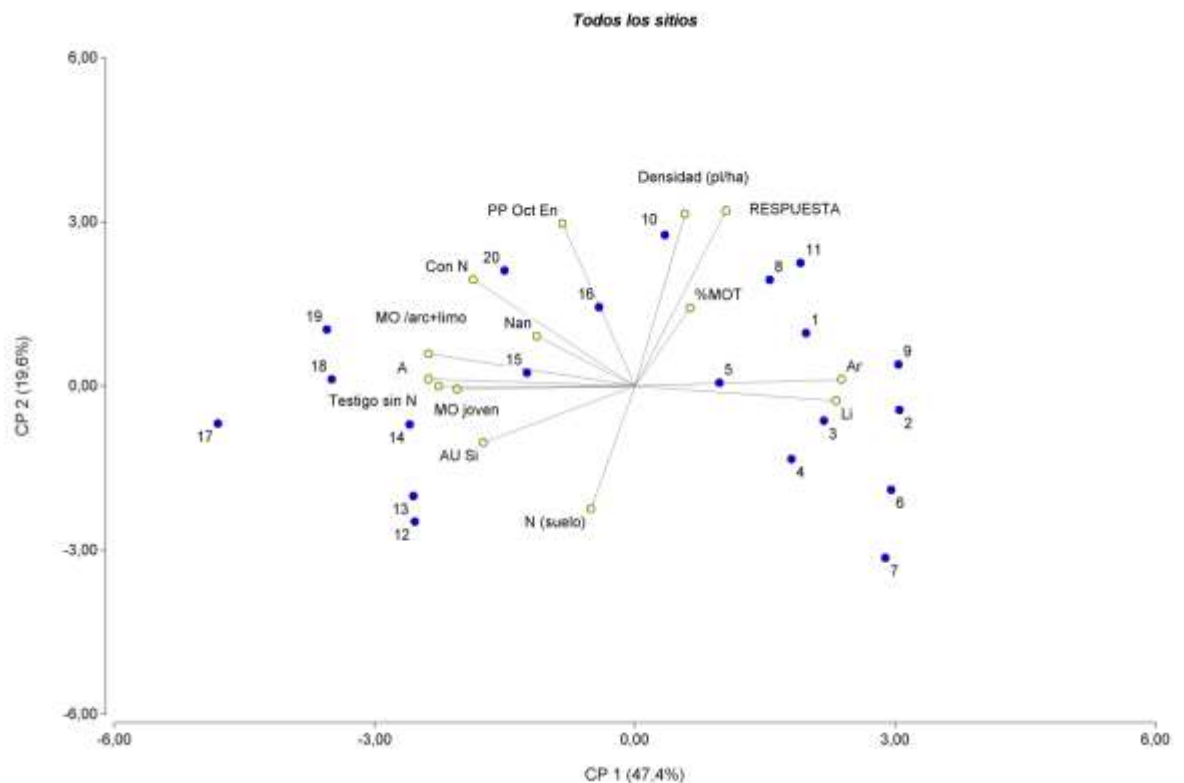


Figura 8: Gráfico biplot de componentes principales para todos los sitios. Los números del 1 al 11 corresponden a los sitios experimentales de suelos Argiúdoles y los números 12 al 20 a los sitios experimentales de suelos Haplúdoles que figuran en ese mismo orden en la Tabla 6. AU Si: Agua útil a la siembra; PP Oct En: precipitaciones de Octubre a Enero; Ar: % de arcilla; Li: % de limo; A: % de arena; % MOT: contenido de materia orgánica total en %; MO/arc+limo: Índice MOT/arcilla+limo, MO Joven: materia orgánica joven, N (suelo) N en el suelo a la siembra de 0 60 cm; Nan: N incubado anaeróbico; Densidad (pl/ha): número de plantas ha<sup>-1</sup>; Testigo sin N: rendimiento del maíz sin N adicional; Con N: rendimiento del maíz con N adicional; RESPUESTA: respuesta en kg ha<sup>-1</sup> de maíz al agregado de N.



Tabla 7: Correlaciones con las variables originales para todos los sitios:

Variables	CP 1	CP 2
Densidad (pl/ha)	0,23	0,80
Ar	0,94	0,03
Li	0,92	-0,07
A	-0,94	0,03
AU Si	-0,69	-0,26
PP Oct En	-0,33	0,76
%MOT	0,25	0,36
MO /arc+limo	-0,94	0,15
MO joven	-0,81	-0,02
Nan	-0,45	0,23
N (suelo)	-0,20	-0,57
Testigo sin N	-0,89	-0,01
Con N	-0,74	0,50
RESPUESTA	0,42	0,82
<i>Correlación cofenética= 0,923</i>		

Se puede observar en la Figura 8 que la componente 1 (CP1) explicó el 47,4% de la variación en los datos y CP2 el 19,6%. Entre las dos alcanzan un 67%.

La primer componente estuvo definida principalmente por las variables porcentaje de arcilla, porcentaje de limo, porcentaje de arena y por el Índice MOT/a+1, mientras que la segunda componente (CP2) estuvo definida principalmente por las variables pp de Octubre a Enero y la densidad de plantas/ha. La componente 1 permitió diferenciar claramente los sitios de suelos Argiudoles en el lado derecho de la figura (ensayos 1 al 11) asociados a los % de arcilla y limo (con signo positivo) y los suelos Hapludoles en el lado izquierdo de la figura (ensayos 12 al 20) relacionado a la variable % de arena (con signo negativo).

En la Figura 8 se observa también que los sitios de suelos Hapludoles se encuentran asociados con el Agua útil a la siembra, con el Índice MOT/a+1, con la MO joven, con los mayores rendimientos con N adicional y del testigo sin N adicional. La textura y taxonomía de los suelos analizados en este caso, unido a la mayor disponibilidad hídrica en la zona de suelos Hapludoles (ver tabla 4) con una incidencia diferente del fenómeno año Niño y Niña, se refleja en los resultados contrastantes encontrados en las dos zonas geográficas.

Este análisis avala la conveniencia de analizar por separado los dos tipos de suelos, lo cual se realiza a continuación.

En la Figura 9 se puede observar el gráfico biplot de componentes principales de los suelos Argiudoles y en la Tabla 8 las correlaciones con las variables originales.

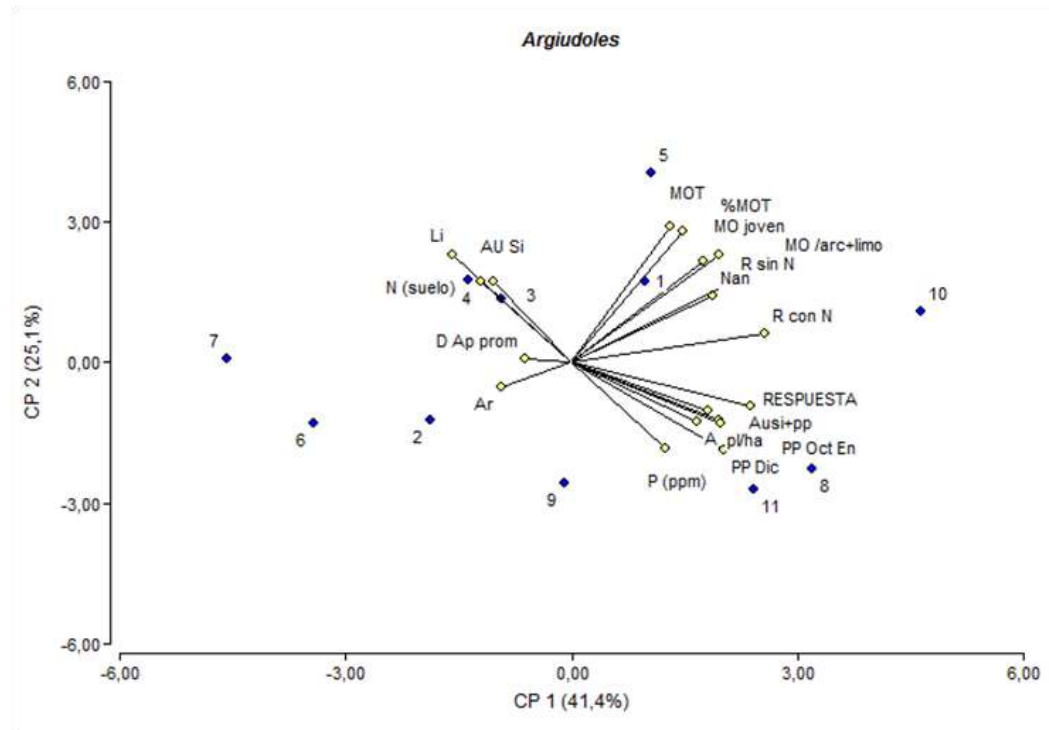


Figura 9: Gráfico biplot de componentes principales para los suelos Argiudoles. Los números del 1 al 11 corresponden a los sitios experimentales que figuran en ese mismo orden en la Tabla 6. D Ap prom: densidad aparente promedio 0 a 6 cm, 6 a 12 cm y 12 a 18 cm, AUS+pp: Agua útil a la siembra + precipitaciones de octubre a Enero; PP Oct En: precipitaciones de Octubre a Enero; PP Dic.: precipitaciones en el mes de Diciembre; Ar: % de arcilla; Li: % de limo; A: % de arena; % MOT: contenido de materia orgánica total en %. MOT: contenido de materia orgánica total en  $t\ ha^{-1}$ ; MO/arc+limo: Índice MOT/arcilla+limo, MO Joven: materia orgánica joven, N (suelo) N en el suelo a la siembra de 0 60 cm; P (ppm): P disponible; Nan: N incubado anaeróbico; pl/ha: número de plantas  $ha^{-1}$ ; R sin N: rendimiento del maíz sin N adicional; R con N: rendimiento del maíz con N adicional; RESPUESTA: respuesta en  $kg\ ha^{-1}$  de maíz al agregado de N.

Tabla 8: Correlaciones con las variables originales para los suelos Argiudoles:

Variables	CP 1	CP 2
pl/ha	0,72	-0,36
Ar	-0,34	-0,15
Li	-0,59	0,67
A	0,62	-0,36
D Ap prom	-0,23	0,02
AU Si	-0,45	0,50
PP Dic	0,75	-0,54
PP Oct En	0,74	-0,38

AUS+pp	0,67	-0,29
P (ppm)	0,47	-0,53
MOT	0,48	0,84
%MOT	0,55	0,82
MO /arc+limo	0,73	0,67
MO joven	0,65	0,63
Nan	0,70	0,41
N (suelo)	-0,38	0,50
R sin N	0,80	0,50
R con N	0,95	0,18
<u>RESPUESTA</u>	<u>0,88</u>	<u>-0,27</u>

Se puede observar en la Figura 9 que la componente 1 (CP1) explicó el 41,4% de la variación en los datos y CP2 el 25,1%. La primer componente estuvo definida por las variables MO/a+l, PP Oct a enero, PP Diciembre, plantas ha<sup>-1</sup> y Nan mientras que la segunda componente (CP2) estuvo definida positivamente por las variables MOT y % MOT. La componente 1 permitió diferenciar los sitios 7, 6 y 2 con menores rendimientos en una campaña con menores precipitaciones versus los sitios 11, 8 y 10 con mejores rendimientos en la segunda campaña con precipitaciones más adecuadas. En cambio, la componente 2 permitió diferenciar el sitio 5 con alto nivel de MOT y buena respuesta a la fertilización. Por el contrario los sitios 8 y 11 la respuesta al agregado de N estuvo más asociada a la ocurrencia de lluvias.

En la Figura 10 se puede observar el gráfico biplot de componentes principales y en la Tabla 9 las correlaciones con las variables originales de los suelos Hapludoles.

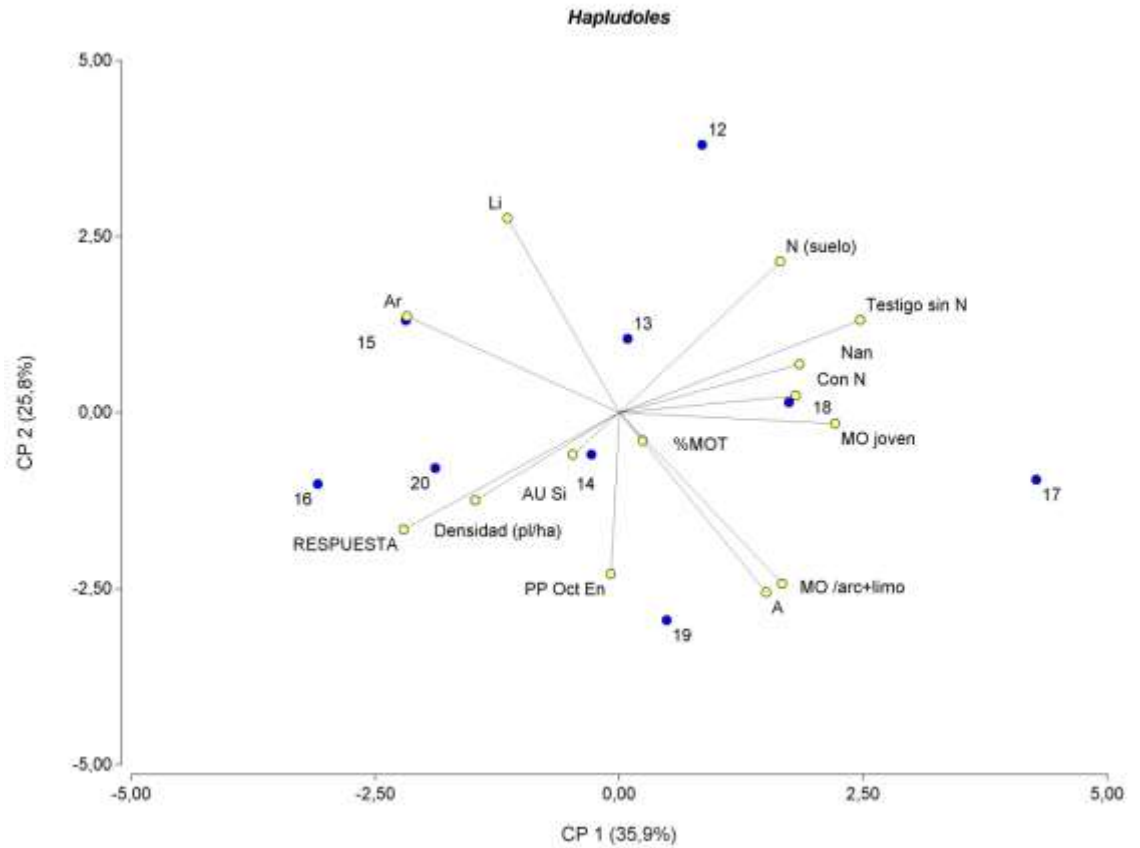


Figura 10: Gráfico biplot de componentes principales para los suelos Hapludoles. Los números del 11 al 20 corresponden a los sitios experimentales que figuran en ese mismo orden en la Tabla 7. AU Si: Agua útil a la siembra; PP Oct En: precipitaciones de Octubre a Enero; Ar: % de arcilla; Li: % de limo; A: % de arena; % MOT: contenido de materia orgánica total en %.; MO/arc+limo: Índice MOT/arcilla+limo, MO Joven: materia orgánica joven, N (suelo) N en el suelo a la siembra de 0 60 cm; Nan: N incubado anaeróbico; pl/ha: número de plantas ha<sup>-1</sup>; Testigo sin N: rendimiento del maíz sin N adicional; Con N: rendimiento del maíz con N adicional; RESPUESTA: respuesta en kg ha<sup>-1</sup> de maíz al agregado de N.

Tabla 9: Correlaciones con las variables originales para los suelos Hapludoles:

Variables	CP 1	CP 2
Densidad (pl/ha)	-0,53	-0,38
Ar	-0,78	0,42
Li	-0,41	0,84
A	0,54	-0,78
AU Si	-0,17	-0,18
PP Oct En	-0,03	-0,70
%MOT	0,09	-0,12
MO /arc+limo	0,60	-0,74
MO joven	0,80	-0,05
Nan	0,67	0,21
N (suelo)	0,59	0,65
Testigo sin N	0,89	0,40
Con N	0,65	0,07
RESPUESTA	-0,79	-0,51

Correlación cofenética= 0,854

En los suelos Hapludoles la componente 1 (CP1) explicó el 35,9% de la variación en los datos y CP2 el 25,8%. La primer componente estuvo definida por las variables % MO joven, Índice MO/a+1, % de Arcilla y Nan. (Tabla 9). Esta componente 1 permitió diferenciar los sitios 12 y 17 con menor respuesta a la fertilización con N. También los sitios, 20, 14, 15 y 16 con menores rendimientos sin N adicional. La segunda componente (CP2) estuvo definida por las variables % limo y % de arena, precipitaciones de Octubre a Enero, y por el N del suelo a la siembra. Esta componente permitió diferenciar los sitios 17, 19 y el 12.

La matriz completa de correlaciones múltiples se encuentra en el Anexo 4. En las Tablas 10, 11 y 12 se presentan las relaciones entre las variables consideradas en este análisis. Puede verse que en los Argiudoles estas variables tuvieron buena correlación entre sí. En los Hapludoles se observó correlación significativa de la MOJ con las variables relacionadas con la MOT pero no del Nan con las otras.

Tabla 10: Coeficientes de correlación entre variables del suelo y significancia.

Argiudoles	MOJ	Nan
MOT (t ha <sup>-1</sup> )	0,86**	0,63*
%MOT	0,84*	0,63*
MOT/a+1	0,88**	0,78**
MOJ (t ha <sup>-1</sup> )		0,77*
Hapludoles	MOJ	Nan
MOT (t ha <sup>-1</sup> )	0,76**	0,31ns
%MOT	0,69*	0,49ns
MOT/a+1	0,62*	0,57ns
MOJ (t ha <sup>-1</sup> )		0,44ns

p<0,01: \*\* y p<0,05: \* y ns: no significativo

Tabla 11: Coeficientes de correlación entre parámetros del suelo y parámetros climáticos y el rendimiento de los cultivos sin y con N y la respuesta al N y la significancia estadística en los suelos Argiudoles.

Argiudoles	%MOT	MOT/a+l	MOT (Mg ha <sup>-1</sup> )	MOJ (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nan (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	lluvias Octubre a Enero	lluvias Diciem bre	Rendimi ento sin N	Rendimiento con N
Rendimiento sin N	0,87**	0,91 **	0,80**	0,73**	0,72*	0,09	0,36	0,34	1,0	0,90**
Rendimiento con N	0,71**	0,81**	0,64*	0,68*	0,65*	-0,17	0,62*	0,62*	0,90**	1,0
Respuesta a N	0,30	0,46	0,26	0,43	0,38	-0,45	0,76**	0,81**	0,53	0,84**

p<0,01: \*\* y p<0,05: \*

Tabla 12: Coeficientes de correlación entre parámetros del suelo y parámetros climáticos y el rendimiento de los cultivos sin y con N y la respuesta al N y la significancia estadística en los suelos Hapludoles.

Hapludoles	%MOT	MOT/a+l	MOT (Mg ha <sup>-1</sup> )	MOJ (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nan (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	lluvias Octubre a Enero	lluvias Diciembre	Rendimien to sin N	Rendimiento con N
Rendimiento sin N	0,79*	0,23	0,38	0,61	0,74*	0,82**	-0,18	0,04	1,0	0,74*
Rendimiento con N	0,57	0,11	0,13	0,28	0,38	0,55	0,13	0,25	0,74*	1,0
Respuesta a N	-0,70	-0,26	-0,47	-0,70*	-0,76*	-0,81*	0,33	0,11	-0,89**	0,35

p<0,01: \*\* y p<0,05: \*

### 5.2.3. Rendimientos en función del N inicial

En la Figura 11 pueden verse los rendimientos de maíz de los tratamientos sin fertilizante nitrogenado adicional en los suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires y en los Argiudoles del sur de Santa Fe.

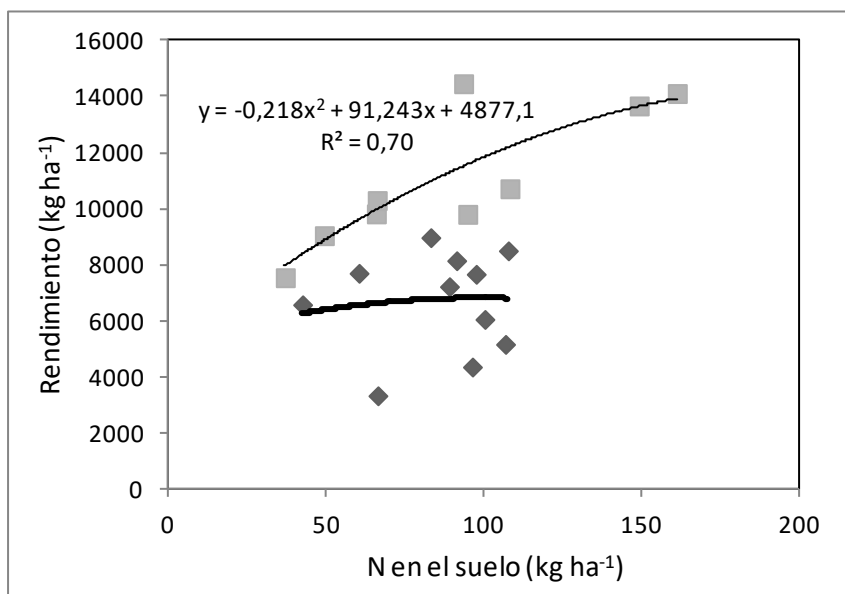


Figura 11: Rendimiento del maíz en los tratamientos testigo sin N adicional en función del N inicial en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe (rombos y línea gruesa) y en los suelos Hapludoles del Noroeste de Bs As (cuadrados y línea angosta), campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Se puede ver que el N inicial ( $N-NO_3^-$ ) en los Hapludoles explicó el 70% de la variabilidad. Por el contrario se observa lo ya comentado en el AMCP que en los sitios sin N adicional de los suelos Argiudoles en estas campañas, el N inicial ( $N-NO_3^-$ ) disponible a la siembra tuvo escasa correlación con el rendimiento.

En una tercer campaña de ensayos complementarios (2009/10) donde la disponibilidad de agua no resultó limitante en ambos tipos de suelo, sí se comprobó un comportamiento previsible donde a un mayor nivel de N en suelo los cultivos sin N adicional tuvieron un mayor rendimiento en especial en los suelos Argiudoles. Figura 11. Información de estos sitios y ensayos en el Anexo 5.

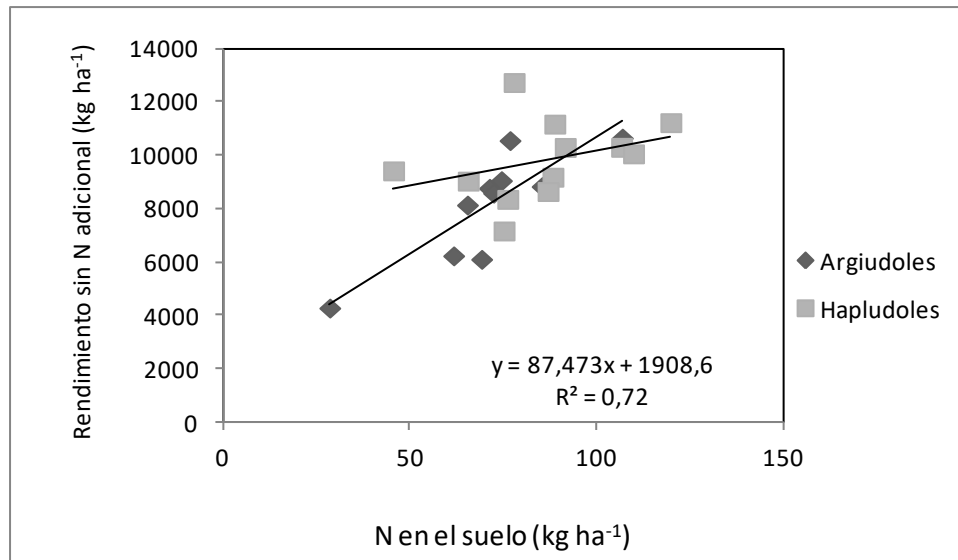


Figura 12: Rendimiento de maíz sin fertilizante nitrogenado adicional en función del nivel de N inicial del suelo a la siembra en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados) campaña 2009/10 de la serie de ensayos complementarios.

Continuando con los resultados de las campañas 2005 y 2006 en la Figura 13 se observa el rendimiento de todos los tratamientos con los distintos niveles de N al inicio del cultivo en los suelos Argiudoles y Hapludoles.

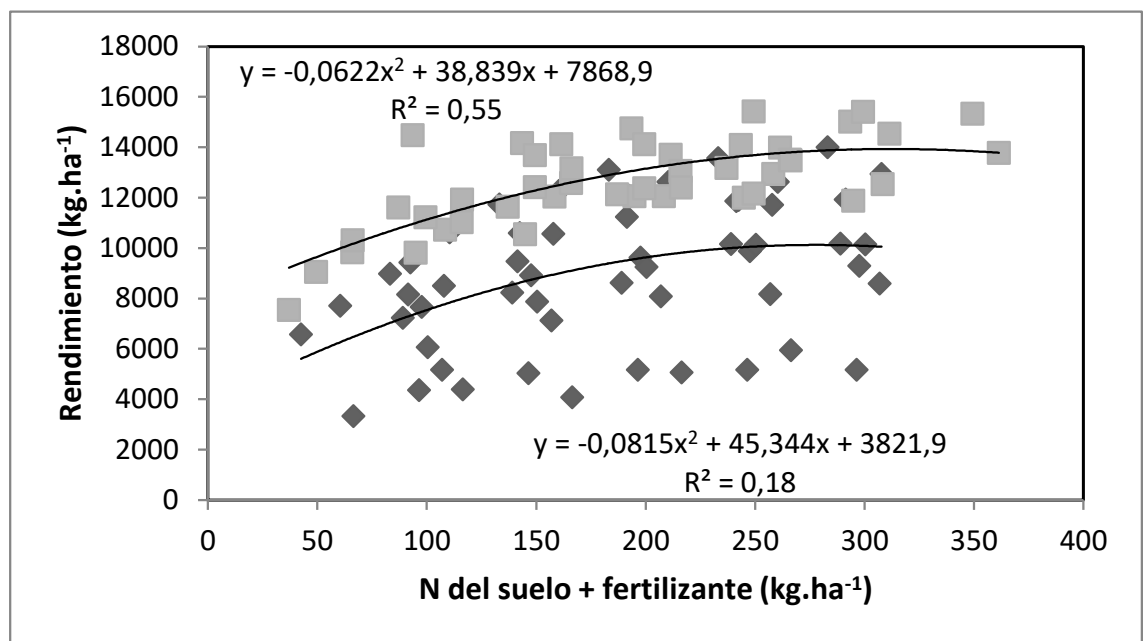


Figura 13: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial (suelo + fertilizante) en los suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires (cuadrados) y en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe (rombos), campañas 2005/2006 y 2006/2007.



Se observa que el rendimiento es explicado en un 18% y en un 55% según la cantidad de N al inicio del cultivo suelo más el del fertilizante, en los suelos Argiudoles y Hapludoles respectivamente.

En la Figura 14 está graficado el rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial, suelo más el del fertilizante, más el estimado proveniente del Nan en Argiudoles. El valor de Nan se transformó a  $\text{kg ha}^{-1}$  empleando un factor de conversión de 3,6 tal como lo sugieren Reussi Calvo *et al.* (2013b).

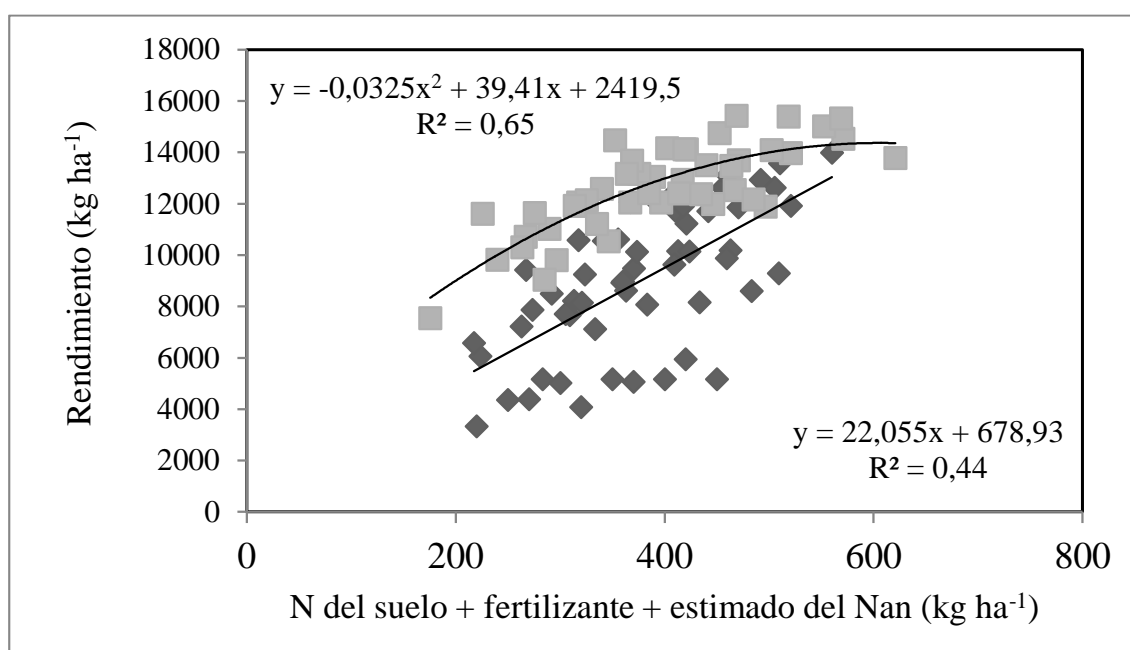


Figura 14: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial (suelo + fertilizante + N estimado del Nan) en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe (cuadrados) y en los suelos Hapludoles del NO de Buenos Aires (rombos) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Puede verse que el  $R^2$  pasa de 0,18 a 0,44 en los Argiudoles y de 0,55 a 0,65 en los suelos Hapludoles.

### 5.3. Rendimientos relativos en función del N inicial

En las Figuras 15, 16, 17 y 18 se observa en cada zona geográfica los rendimientos relativos de todos los tratamientos con respecto a la dosis máxima de N. En la Figura

15 se observa el análisis en forma conjunta de todos los ensayos en suelos Argiudoles del sur de Santa Fe.

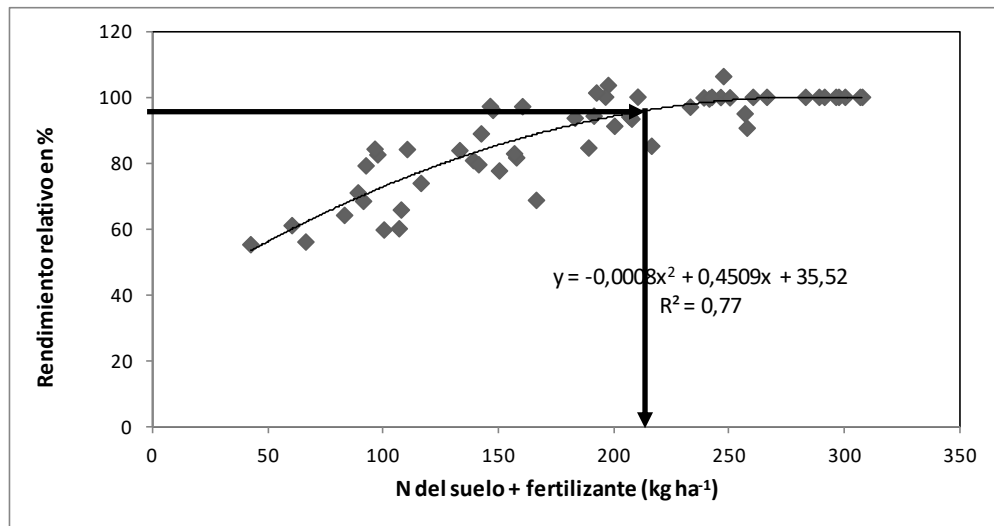


Figura 15: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe. La flecha indica el valor de N para obtener un 95% del RR, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

En los suelos Hapludoles el rendimiento relativo de todos los tratamientos dosis de N con respecto a la dosis más elevada de N se observa en la Figura 16.

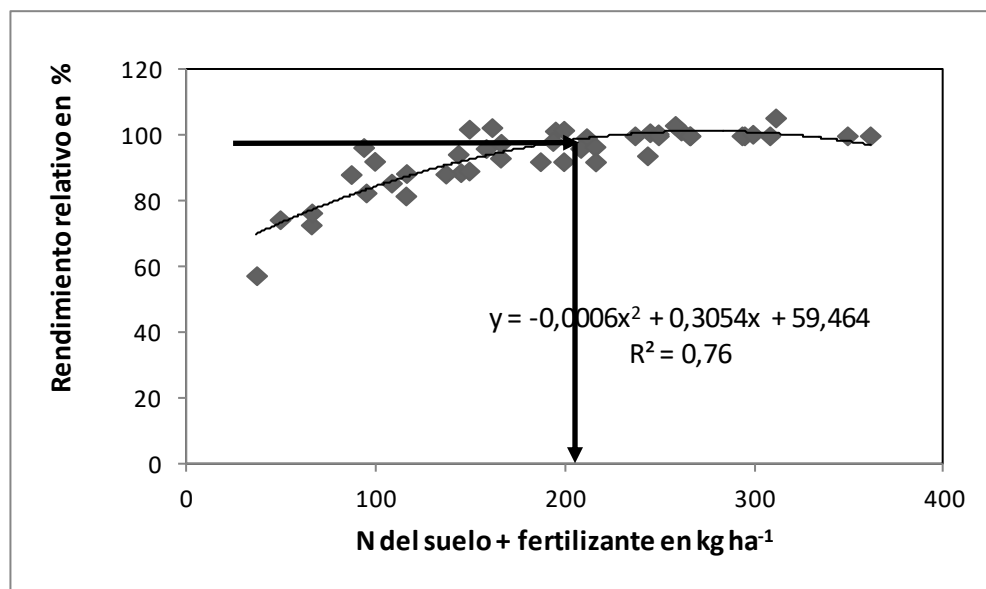


Figura 16: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el del fertilizante en los suelos Hapludoles del norte de Buenos Aires. La flecha indica el valor de N para obtener un 95% del RR campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Los coeficientes de ajustes fueron similares en ambas zonas como se ve en las Figuras 15 y 16. El modelo cuadrático fue el que mejor ajustó en ambos casos aunque se detectaron diferencias en el coeficiente  $a$  de la ecuación. Así mientras en los Argiudoles el valor es de 35,52 en los Hapludoles es de 59,464. Esto indica que en los Argiudoles hubo sitios con una muy baja productividad corregida en parte por el N del fertilizante. Por el contrario en los Hapludoles los rendimientos sin N fueron comparativamente más altos.

Las ecuaciones permitieron determinar un valor umbral para obtener el 95% del RR de 210 kg ha<sup>-1</sup> para los suelos Argiudoles y de 180 kg ha<sup>-1</sup> en los Hapludoles.

Si se grafica el rendimiento relativo en función del N disponible del suelo más el del fertilizante más el estimado a partir del Nan el resultado se visualiza en la Figura 17 para los suelos Argiudoles y en la Figura 18 para los Hapludoles.

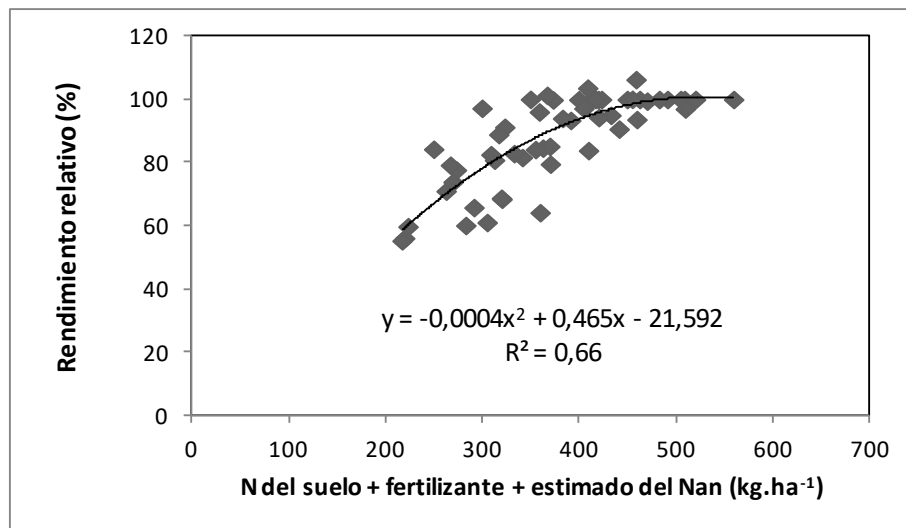


Figura 17: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante más el estimado a partir del Nan en los suelos Argiudoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

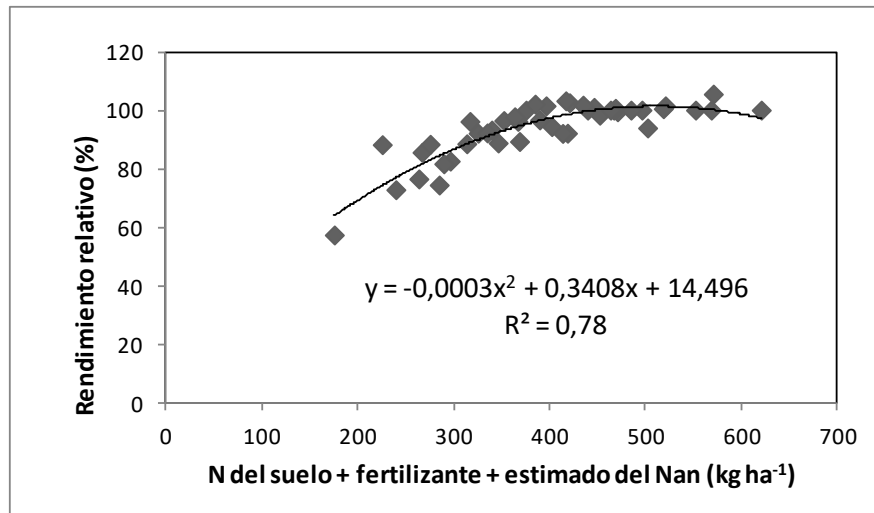


Figura 18: Rendimiento relativo de maíz en función del N del suelo más el proveniente del fertilizante más el estimado a partir del Nan en los suelos Hapludoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Puede verse en las Figuras 17 y 18 que el considerar el aporte del N en función del Nan no mejora la correlación en los Argiudoles (el  $R^2$  pasa de 0,77 a 0,66) y lo hace muy levemente en los Hapludoles (el  $R^2$  pasa de 0,76 a 0,78).

Con las ecuaciones de regresión se puede estimar que para alcanzar un 95% del rendimiento son necesarios 366 kg N ha<sup>-1</sup> y 335 kg N ha<sup>-1</sup> del conjunto suelo + N fertilizante + N del Nan para la zona de suelos Argiudoles y la de Hapludoles respectivamente.

Se observa una cierta similitud de los valores umbrales para los dos tipos de suelo. Sin embargo y luego de los comentarios realizados del análisis multivariado de componentes principales (AMCP) del punto 4.2.2. se analizan los resultados diferenciando los dos grupos de acuerdo a la taxonomía de los mismos.

En los ensayos complementarios de la campaña 2009/10 caracterizada por muy abundantes precipitaciones el agregado del N estimado según el Nan mejoró la explicación del rendimiento solo en los suelos Hapludoles elevando el  $R^2$  que pasó de 0,38 a 0,50.

Una situación diferente ocurrió en la campaña 2008/09 (Anexo 5) que tuvo precipitaciones muy escasas y el N explicó el 61% de las variaciones de rendimiento. Al agregar el N estimado a partir del valor del Nan la explicación del rendimiento fue del 28% mostrando que en esta campaña con déficit hídrico, el N proveniente del suelo tuvo menor influencia en los rendimientos.

#### 4.4. Análisis estadístico de los ensayos, modelos que explican el rendimiento, valores umbrales.

En cada sitio con los resultados de cosecha se ajustó el modelo cuadrático del tipo  $y = a + bx + cx^2$ . Donde  $x$  es el N disponible (suelo + fertilizante) e  $y$  es el rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Los resultados del análisis estadístico y los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  se muestran en la Tabla 12.

En la Tabla 13 se indican también el nivel de N inicial en cada sitio de ensayo, el rendimiento de las parcelas sin N (y *testigo*), los coeficientes de las curvas de ajuste de cada sitio, el nivel de N en el cual el rendimiento se hace máximo ( $x_{max}$ ) y el nivel de N donde se magnifica el beneficio económico ( $x_{econ}$ ) con el respectivo rendimiento ( $y_{econ}$ ). También se indica la respuesta a la aplicación de N según la ecuación que explica el rendimiento, la eficiencia de conversión en kg de maíz/ kg de N aplicado y significancia estadística entre tratamientos en cada sitio.

Tabla 13: N inicial del suelo (0 a 60 cm), x máximo en kg de N ha<sup>-1</sup>, x económico en kg de N ha<sup>-1</sup>, rendimiento del testigo según ecuación, rendimiento a la dosis x económica, respuesta en kg ha<sup>-1</sup> (y econ – rinde testigo sin N), eficiencia de conversión en kg de maíz/ kg de N aplicado y significancia estadística entre tratamientos en cada sitio.

Campo	N inicial	x max	x econ	y testigo	y econ	Rta c ecuacion	Ef econ	Sign estad Tuckey
<b>2005/2006</b>								
Las Parejas L5	107,8	307	242	8651	12240	3590	26,7	5%
Las Parejas L6	106,9	277	219	5287	8172	2885	25,6	5%
Sta Teresa L15	89,1	533	248	7201	9844	2644	16,6	5%
Sta Teresa L17	97,6	233	178	7649	9461	1812	22,5	no sig
Sta Teresa L3 4C	91,4	286	224	8026	11590	3564	26,9	5%
J.B. Molina La Merced	66,4	-55	189	3333	5944	2611	21,2	no sig
J.B. Molina La Noria	96,4	238	85	4359	4277	-82	7,4	no sig
<b>2006/2007</b>								
Las Parejas L7	12,0	199	167	7783	12668	4885	31,6	5%
Las Parejas SI sur	39,2	228	173	6021	9844	3823	28,7	5%
Sta Teresa L12 Polo	82,0	257	216	9107	13696	4590	34,3	5%
J.B. Molina La Merced	44,4	226	186	6645	11758	5113	36,1	5%
<b>Promedios sur Sta Fe</b>	<b>75,7</b>	<b>248</b>	<b>193</b>	<b>6733</b>	<b>9954</b>	<b>3221</b>	<b>25,2</b>	
<b>2005/2006</b>								
Ameghino ER L9	161,4	274	161	14126	14126	0	0,0	no sig
Ameghino ER L15	108,3	270	181	10791	12126	1335	19,2	5%
Ameghino IL L2	94,9	255	185	9675	11612	1937	19,9	no sig
Gral Pinto SFL24S	65,9	293	205	9755	12986	3231	22,7	5%
Gral Pinto LA L5	37,0	211	170	8072	12623	4551	38,1	5%
<b>2006/2007</b>								
Ameghino ER L6	92,4	163	351	14476	15515	1039	4,0	no sig
Gral Pinto SFL 23N	146,1	314	217	13541	14806	1265	15,8	no sig
Ameghino IL L8O	65,0	242	169	10447	12746	2299	23,6	5%
Ameghino EGL12	49,4	193	155	9113	12374	3262	31,6	5%
<b>Promedios NO Bs As</b>	<b>91,1</b>	<b>246</b>	<b>204</b>	<b>11111</b>	<b>13213</b>	<b>2102</b>	<b>19,4</b>	

	N	x máximo	x económico	y testigo	y econ	respuesta	Eficiencia
<b>Promedio Argiudoles</b>	75,7	248	193	6733	9954	3221	25,2
<b>Promedio Hapludoles</b>	91,1	246	204	11111	13213	2102	19,4

Puede verse en la tabla y en lo ya visto en las Figura 13 y 14, que en los suelos Argiudoles existió gran variabilidad en los resultados y en la respuesta al N. Algunos sitios como JB Molina La Noria 2005/06 y JB Molina La Merced 2005/06, (sitios con el menor Índice MOT/arc+limo) no mostraron aumento del rendimiento ante el agregado de N en una campaña Niña con precipitaciones escasas. Los sitios Las Parejas SI sur 2006/07 y JB Molina La Merced 2006/07 son también sitios de muchos años de agricultura y consecuentemente un bajo Índice MOT/arc+limo pero la condición de año Niño dio como resultado una alta respuesta a la fertilización nitrogenada.

Puede verse que en 13 ensayos hubo diferencias significativas al nivel del 5% y no la hubo en 7 ensayos: Santa Teresa LEL17, J.B. Molina La Merced, J.B. Molina La Noria, Ameghino El Rosario 9, Ameghino IL L2, Ameghino El Rosario 6 y Gral Pinto SF L23N.

En los ensayos J.B. Molina La Merced y Ameghino ER L6 el modelo cuadrático mostró un coeficiente  $c$  con signo positivo. Esto significa que con ese set de datos no se alcanzó un máximo en la producción de maíz a partir del cual el rendimiento comience a disminuir con el agregado de N.

Los datos promedio de todos los ensayos del nivel de N al cual llevar el suelo para maximizar el resultado económico (*x económico*) resultaron de 193 kg ha<sup>-1</sup> para Argiudoles y de 204 kg ha<sup>-1</sup> para Hapludoles. Sin embargo la variabilidad entre los sitios fue muy alta en especial en los Argiudoles.

Debido a la variabilidad encontrada en los Argiudoles se analizaron en estos suelos las curvas promedio de dos sub poblaciones considerando la calidad de sitio y el comportamiento de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Tablas 4 y 5).

En la Figura 19 se han reagrupado los sitios en un grupo de Argiudoles con un Índice MOT/a+1 mayor a 3,2 y/o año Niño (9 sitios) y un segundo grupo de dos sitios con un Índice MOT/a+1 de 3,2 y año Niña (sitios 6 y 7 de la Figura 8 - JB Molina La Noria 2005/06 y JB Molina La Merced 2005/06). En ninguno de estos sitios el rendimiento superó los 6000 kg ha<sup>-1</sup>.

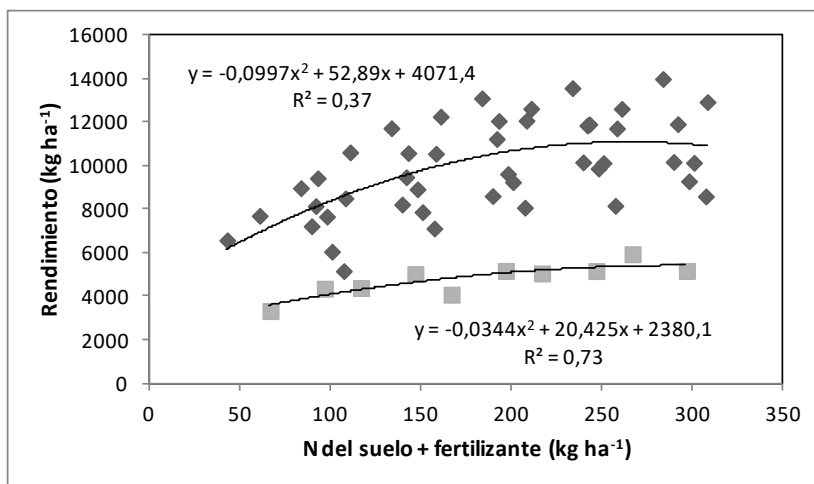


Figura 19: Rendimiento del maíz en función del nivel de N inicial en los suelos Argiudoles del sur de Santa Fe campañas 2005/2006 y 2006/07. Población de 9 sitios de índice MOT/a+l superior a 3,2 (año Niño y Niña) y población de 2 sitios (cuadrados) de índice MOT/a+l 3,2 en año Niña.

Puede verse que el coeficiente de correlación aumenta con respecto al coeficiente de ajuste de la Figura 13. La condición de año Niño en la campaña 2006/07 posibilitó mejores rendimientos del tratamiento sin N y la respuesta al N. En el año Niña se limitó el rendimiento y la respuesta al N en aquellos sitios de menor índice MOT/a+l.

Analizando las curvas de ajuste de la Figura 19 se pueden establecer los coeficientes a, b y c y las respectivas dosis de N para el rinde máximo y el rinde de mayor eficiencia económica para cada zona geográfica. Estos datos se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14: x máximo de N en kg ha<sup>-1</sup>, x económica de N en kg ha<sup>-1</sup>, rendimiento a la dosis x económica, respuesta al uso de N en kg ha<sup>-1</sup> (y econ – rinde testigo sin N), eficiencia de conversión en kg de maíz/ kg de N aplicado de acuerdo al potencial del sitio y el año climático esperado.

	x máximo	x económico	y económico	Respuesta en kg ha <sup>-1</sup>	Eficiencia
Argiudoles en año Niño	265	200	10662	3322	29,3
Argiudoles de bajo Índice MOT/a+l en año Niña	297	108	4184	439	14,1



En este caso el análisis conjunto de los ensayos indicó que los niveles de máximo retorno al N fueron de 200 kg ha<sup>-1</sup> y 108 kg ha<sup>-1</sup> en la zona sur de Santa Fe para todos los sitios en año Niño y para los sitios de bajo Índice MOT/a+1 en año Niña respectivamente.

Por último si bien no es el objetivo de esta tesis de encontrar umbrales de N inicial (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N fertilizante) al cual llevar el suelo, en la Tabla 15 se resume lo comentado en los puntos anteriores de los valores promedio de N en kg ha<sup>-1</sup> para alcanzar el 95% de la producción y para optimizar la renta a partir de las ecuaciones polinómicas de ajuste para las campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Tabla 15: Valores umbrales de N en kg ha<sup>-1</sup> para alcanzar el 95% de la producción y para optimizar la renta según distintas metodologías.

METODO	Zona geográfica	Nivel de N a llevar el suelo
95% del rinde relativo	Argiudoles	210 kg ha <sup>-1</sup>
	Hapludoles	180 kg ha <sup>-1</sup>
Valor óptimo de respuesta económica con una relación N:maíz de 13:1	Argiudoles en año Niño	200 kg ha <sup>-1</sup>
	Argiudoles de bajo potencial en año Niña	108 kg ha <sup>-1</sup>
	Hapludoles	204 kg ha <sup>-1</sup>

Precisamente este trabajo de tesis busca encontrar parámetros del suelo que complementen estos umbrales a la hora de hacer una recomendación sitio específica y así no limitarse a un valor *estático* que no considere el N que proveerá el suelo en la estación de crecimiento.

4.5. Relación del rendimiento de los tratamientos con y sin N adicional con distintas variables del suelo.

4.5.1. El rendimiento y la MOT.

Se correlacionó el rendimiento del maíz sin fertilizante nitrogenado adicional y con N adicional en función del contenido de MO total y del Índice MOT/arcilla+limo. Se utilizó el rendimiento de maíz de los tratamientos con la dosis mayor de N en cada caso. Los resultados se ven en las Figuras 20, 21 y 22.

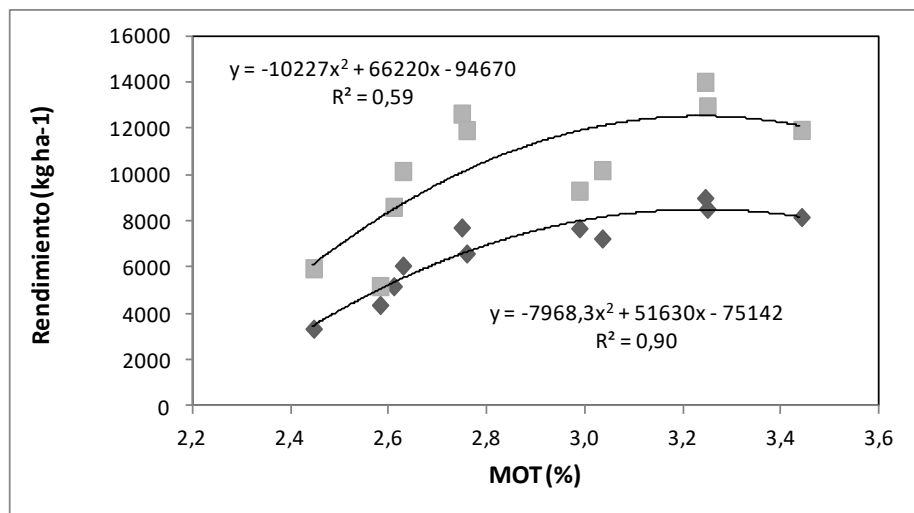


Figura 20: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional (rombos) y con N adicional (cuadrados) y los contenidos de MOT (%) de suelos Argiúdoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Como se puede ver en la Figura 20 en Argiúdoles el rendimiento del maíz sin y con fertilizante nitrogenado tuvo una estrecha correlación con la MO total ( $R^2$ : 0,90 y  $R^2$ : 0,59 respectivamente). Al aumentar la MOT aumentaron los rendimientos. El AMCP mostrado en el punto 4.2.2. junto con los gráficos biplot de las Figuras 9 y 10 y los coeficientes de correlación entre variables de la Tabla 12, mostraron para estos mismos parámetros coeficientes de correlación de 0,87  $p < 0,01$  y 0,71  $p < 0,01$  para los sitios sin y con N adicional respectivamente. La matriz de correlaciones del AMCP mostró coeficientes de correlación para estos mismos parámetros de 0,87  $p < 0,01$  y 0,71  $p < 0,01$  (Tabla 10 y Anexo 4).

Si la MOT se estima como masa de suelo, los resultados se observan en la figura 20.

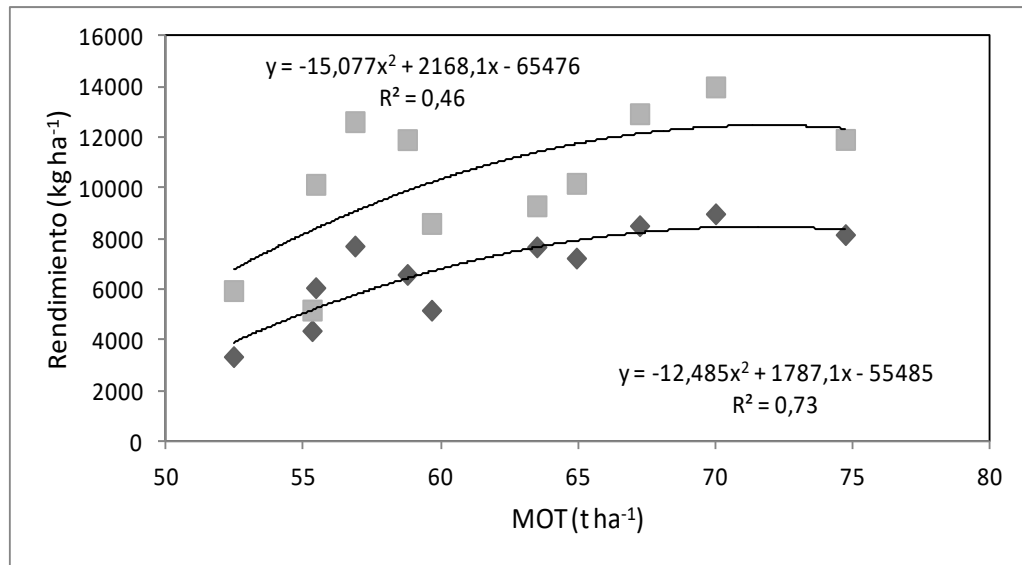


Figura 21: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional (rombos) y con N adicional (cuadrados) y los contenidos de MOT (t ha<sup>-1</sup>) de suelos Argiudoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

En este caso los coeficientes de correlación son inferiores.

En la Figura 22 se observa también que en suelos Hapludoles existió relación significativa entre los rendimientos de maíz con los contenidos de MOT en los tratamientos sin fertilizar ( $R^2$ : 0,63), mientras que cuando se aporta N esta relación fue menor ( $R^2$ : 0,33).

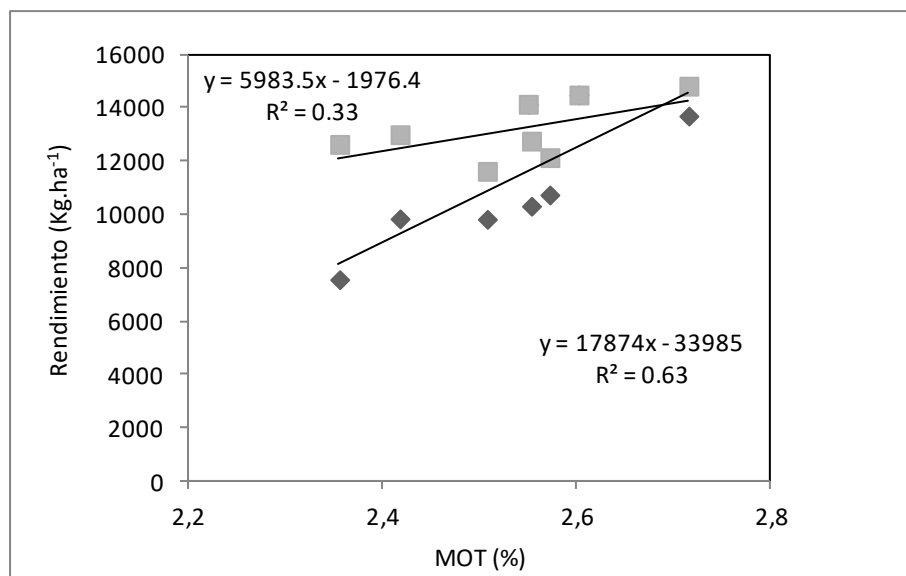


Figura 22: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional (rombos) y con N adicional (cuadrados) y los contenidos de MOT (%) en Hapludoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Si la MOT se estima como masa de suelo los resultados se observan en la Figura 23:

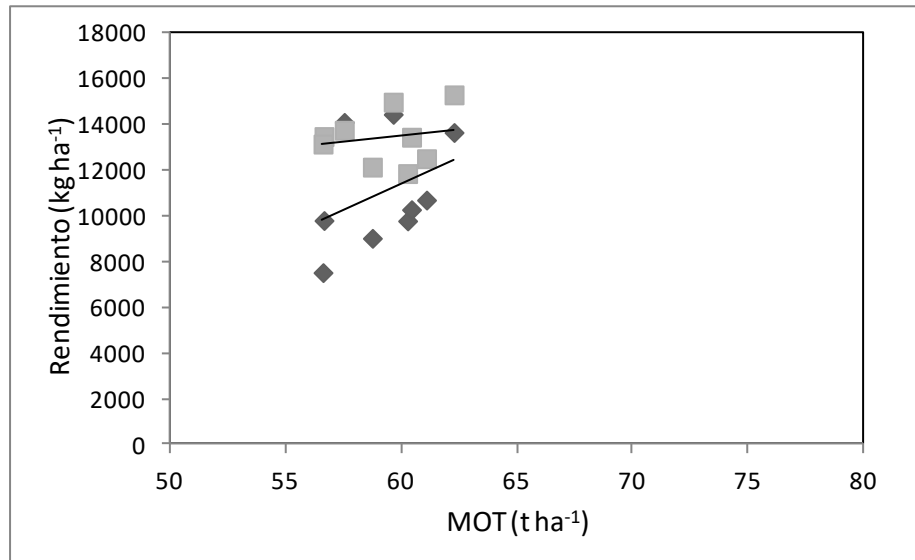


Figura 23: Relación entre el rendimiento de maíz sin N adicional (rombos) y con N adicional (cuadrados) y los contenidos de MOT ( $t\ ha^{-1}$ ) en Hapludoles, campañas 2005/2006 y 2006/2007.

#### 4.5.2. Relación entre el rendimiento e Índice MOT/a+l, MO joven y Nan.

En los Argiudoles hubo una estrecha correlación del rendimiento del maíz sin N y con N con el índice MOT/a+l ( $R^2$  0,82 y 0,67 respectivamente). En los Hapludoles (Figura 23) esta correlación fue considerablemente menor y no significativa ( $R^2$  0,05 y 0,05).

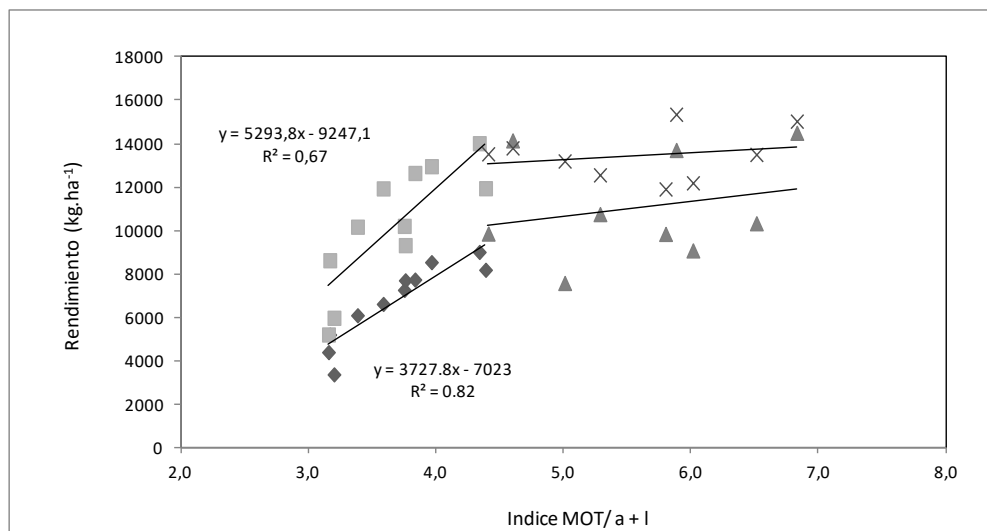


Figura 24: Rendimiento de grano de maíz en función del Índice MO total/a+l en los tratamientos sin N y con N en Argiudoles (rombos y cuadrados respectivamente) y en Hapludoles sin N y con N (triángulos y cruces respectivamente) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

En la Figura 24 los Argiudoles ocupan la parte izquierda de la gráfica. Esto podría deberse a los mayores contenidos de arcilla y limo de esos suelos o a caídas en los contenidos de MOT producida por un gran número de años de agricultura en relación a esa textura.

El AMCP mostró gráficamente que estos parámetros se encuentran asociados y con coeficientes de correlación muy significativos en los suelos Argiudoles (0,91,  $p < 0,01$  y 0,81,  $p < 0,01$ ; Tabla 11). Para graficar los rendimientos con N adicional se utilizaron los resultados obtenidos en cada ensayo con la mayor dosis de N. En los Hapludoles no hubo correlación significativa entre estos parámetros.

En las Figuras 25, 26, 27 y 28 se ve la relación entre el rendimiento de los cultivos con el contenido de MO joven y con el N anaeróbico.

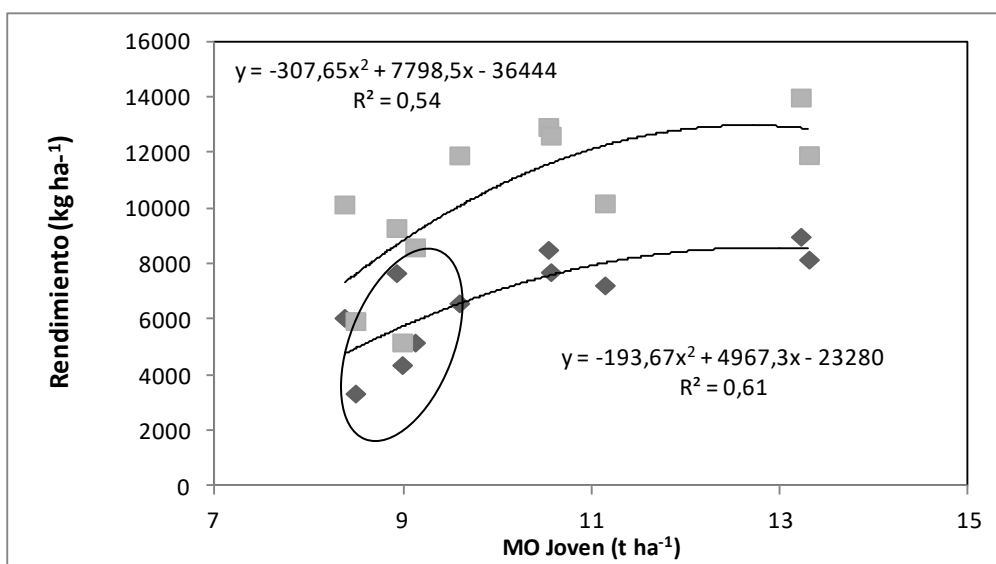


Figura 25: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con la MO joven en Argiudoles sin nitrógeno adicional (rombos) y con nitrógeno adicional (cuadrados) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Como puede verse en la Figura 25 la fertilización con N permitió alcanzar rendimientos de  $10000 \text{ kg ha}^{-1}$  o superiores en ocho sitios. Los tres sitios marcados con elipse en el gráfico (cuadrados llenos): JB Molina (La Merced y La Noria) y Las Parejas lote 6 (campaña 2005/2006) tuvieron niveles de MO joven por debajo de las  $10 \text{ t ha}^{-1}$  y

un Índice MOT/a + 1 de 3,2 en los tres sitios es decir los valores más bajos de todos los sitios (Tabla 5). En estos sitios la fertilización con N no fue suficiente para llegar a rendimientos de maíz de 10000 kg ha<sup>-1</sup>. En los dos primeros sitios las precipitaciones en el ciclo 2005/06 de octubre a enero totalizaron apenas 205 mm.

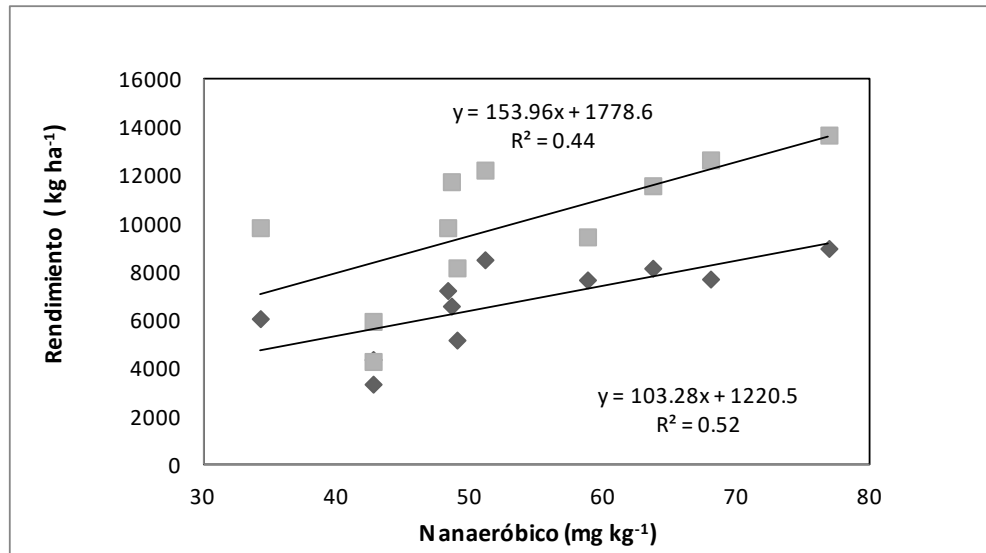


Figura 26: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con el Nan en Argiudoles sin nitrógeno adicional (rombos) y con nitrógeno adicional (cuadrados) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

El Nan explicó el 52% y el 42% de las variaciones de rendimiento en las parcelas sin y con N. El AMCP y los coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 10 resultaron altos para el Nan en los suelos Argiudoles:  $r: 0,72$   $p < 0,05$  y  $r: 0,65$   $p < 0,05$  para el rendimiento de los cultivos sin N y con N adicional respectivamente.

En el caso de los suelos Hapludoles los resultados se observan en las Figuras 27 y 28.

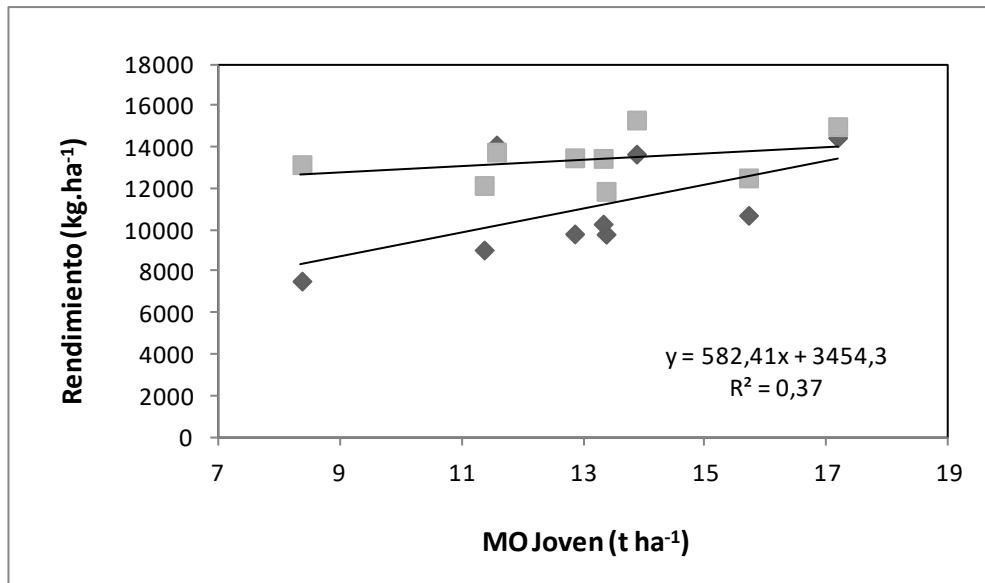


Figura 27: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con la MO Joven en Hapludoles sin nitrógeno adicional (rombos) y con nitrógeno adicional (cuadrados).

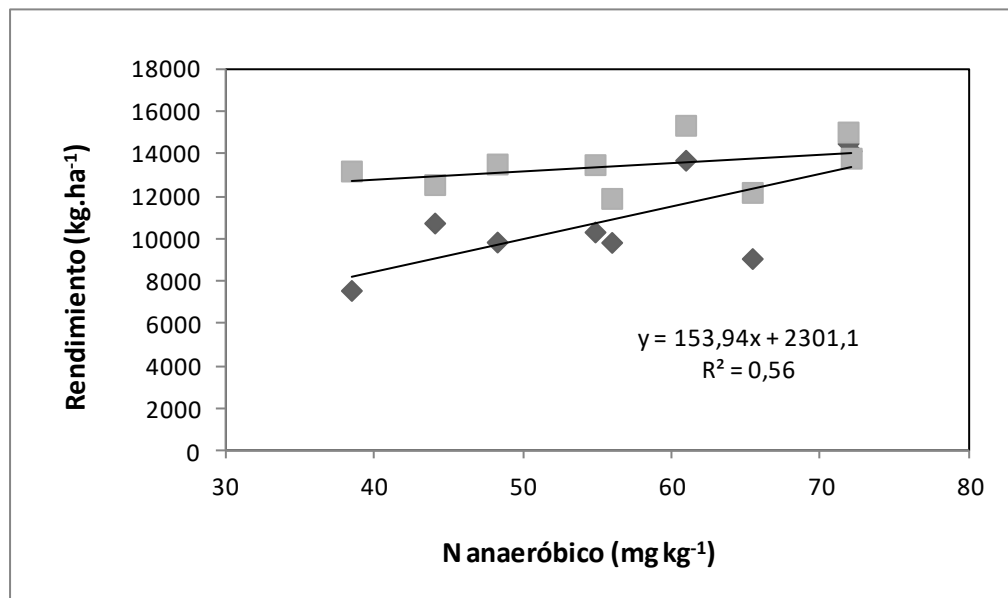


Figura 28: Relación entre el rendimiento de grano de maíz con el Nan en Hapludoles sin nitrógeno adicional (rombos) y con nitrógeno adicional (cuadrados).

En las Figuras 27 y 28 se puede ver que en los Hapludoles tanto la MOJ como el Nan explicaron el 37 y el 56% del rendimiento de las parcelas testigo sin N adicional.

La fertilización con N mejoró sustancialmente el rendimiento independizándolo del nivel de MOJ y del Nan y es evidente que suplió lo que no alcanzó a proveer el suelo.

En la Figura 29 se puede observar en forma conjunta para ambos tipos de suelo el rendimiento del maíz sin fertilizante nitrogenado en función del Nan.

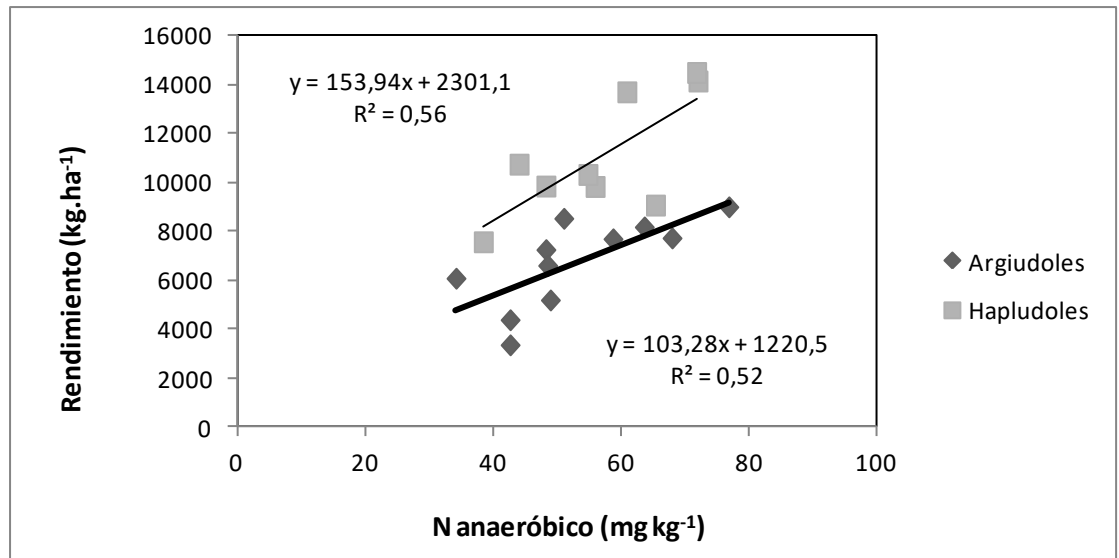


Figura 29: Relación entre el rendimiento de maíz sin fertilizante nitrogenado adicional en función del Nan en Argiudoles (rombos y línea gruesa) y en Hapludoles (cuadrados y línea angosta) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Las determinaciones de Nan explicaron el 52% y el 56% de la variabilidad del rendimiento del maíz sin fertilizante para Argiudoles y Hapludoles respectivamente. También la pendiente de ambas rectas de regresión muestran un mayor aporte del Nan en los Hapludoles debido a los mayores rendimientos encontrados en estos últimos suelos.

Las correlaciones entre variables del AMCP expuesto en la Tabla 12 también mostraron coeficientes de correlación altos en los suelos Hapludoles: 0,74;  $p < 0,05$  y de 0,61 (ns) para el rendimiento de los tratamientos testigo sin N adicional con el Nan y con la MOJ respectivamente.

4.6. Relaciones entre la respuesta a la fertilización con N y el rendimiento de grano del testigo sin fertilizar y con fertilizante.

En la Figura 30 se puede observar la respuesta del rendimiento a la fertilización con N adicional en relación al rendimiento de las parcelas testigo sin N en los suelos Argiudoles y en los Hapludoles.



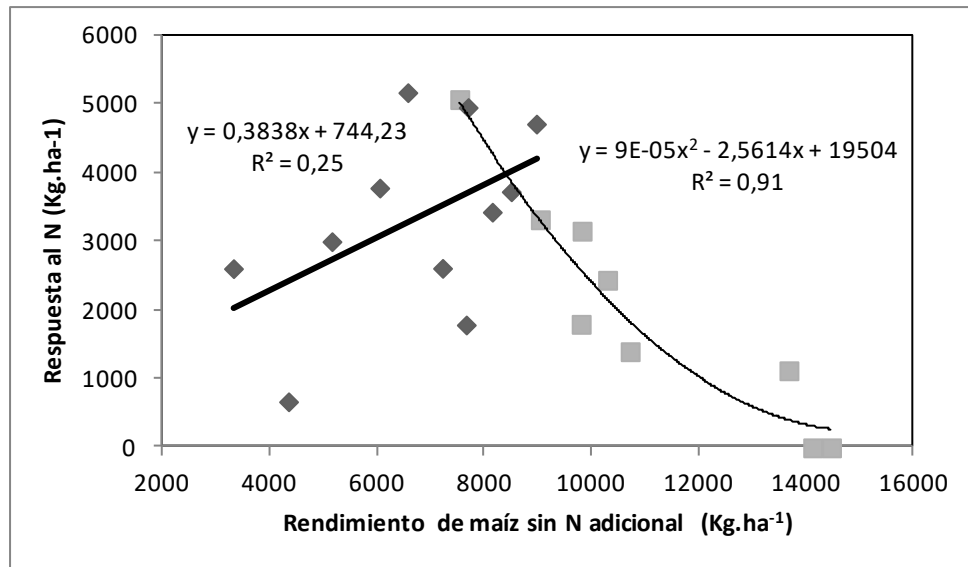


Figura 30: Relación entre la respuesta al N con el rendimiento sin nitrógeno adicional en los suelos Argiudoles (rombos y línea gruesa) y en los suelos Hapludoles (cuadrados y línea angosta) campañas 2005/2006 y 2006/2007.

Puede verse en la Figura 30 que en los Argiudoles existió una tendencia a una respuesta mayor en los sitios que alcanzaron un mayor rendimiento sin fertilización nitrogenada adicional. En los suelos Hapludoles por el contrario la situación fue distinta y en los sitios donde los testigos (cultivos sin N adicional) rindieron poco, la respuesta a las aplicaciones de N fueron altas.

En los Argiudoles la respuesta al agregado de N dependió del potencial del sitio y a mayor rendimiento una mayor respuesta. Por el contrario en los Hapludoles a menor rendimiento sin N hubo una mayor respuesta al agregado de N como fertilizante mostrando que el N era el elemento limitante.

La matriz de correlaciones del AMCP (Tabla 11) mostró coeficientes de correlación positivos en Argiudoles con los tratamientos fertilizados (0,84  $p < 0,01$ ) y con los cultivos testigo sin N adicional (0,53; ns) indicando que hubo mayor respuesta al mejorar las condiciones del suelo.

En Hapludoles esa matriz de correlaciones mostró coeficientes muy significativos pero de signo negativo entre la respuesta al N y el rendimiento del maíz sin fertilizante nitrogenado adicional ( $-0,89$   $p < 0,01$ ).

Como ya se comentó anteriormente en una tercer campaña de ensayos complementarios (2009/10) donde la disponibilidad de agua no resultó limitante en ambos tipos de suelo, en ambos tipos de suelo, se obtuvo un resultado similar donde a mayor rendimiento del cultivo sin N adicional se obtuvo una menor respuesta al agregado de N. Figura 31. Información de estos sitios y ensayos en el Anexo 5.

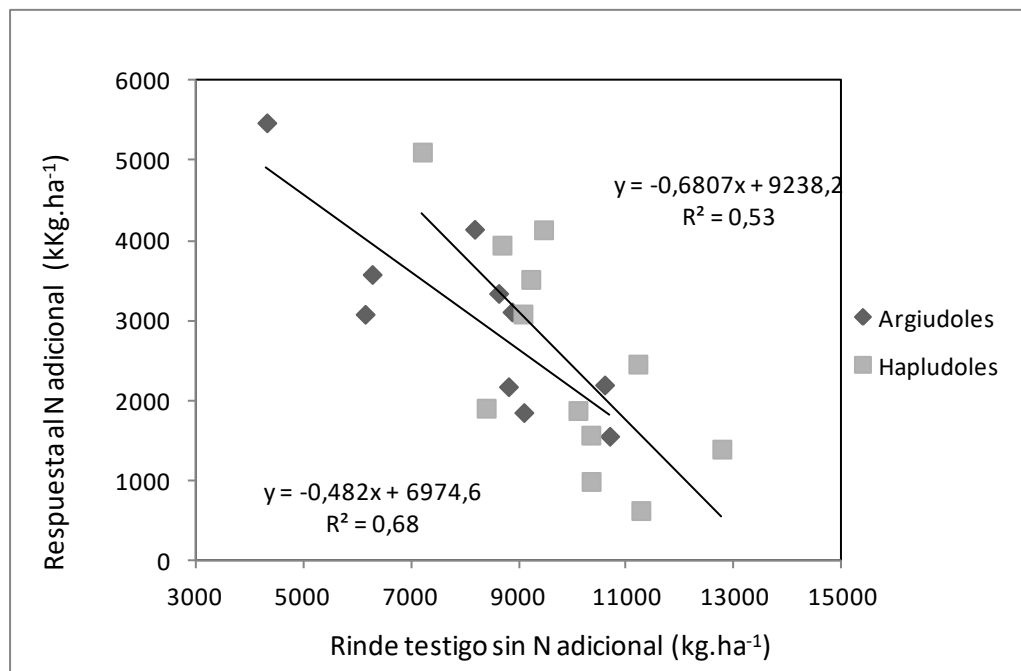


Figura 31: Respuesta al N adicional en función del rendimiento del testigo sin N adicional en Argiudoles (rombos) y en Hapludoles (cuadrados) en la campaña 2009/10.

#### 4.7. Relaciones entre la respuesta a la fertilización con N y el N inicial, la MO joven y el N anaeróbico del suelo.

En la Figura 32 puede verse la relación entre la respuesta al agregado de N en relación a la disponibilidad de N inicial del suelo en Argiudoles y en Hapludoles. En ambos casos se utilizó la respuesta estimada por las curvas de ajuste de los datos de rendimiento observados.

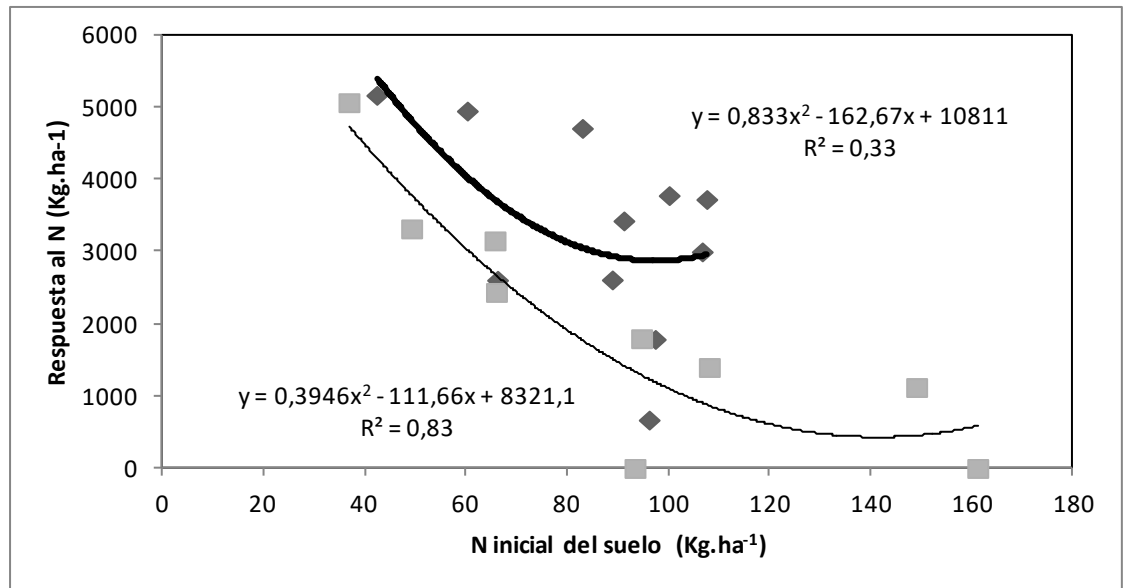


Figura 32: Relación entre la respuesta al N adicional en Argiudoles (rombos y línea gruesa) y en Hapludoles (cuadrados y línea angosta) con el contenido de N inicial ( $\text{N-NO}_3^-$ ) del suelo de 0 a 60 cm. Campañas 2005/06 y 2006/07.

En Hapludoles la respuesta al agregado de N estuvo directamente relacionada con el nivel de N inicial y el mismo explicó un 83% de la variación encontrada. En la Tabla 12 de la matriz de correlaciones del AMCP se observa una correlación significativa ( $r: -0,81$ ,  $p < 0,05$ ). En los Argiudoles como se comentó más arriba la respuesta dependió de otros factores y la correlación resultó menor ( $R^2: 0,33$  – Figura 32 y  $r: 0,45$ , ns. Tabla 11).

En una tercera campaña de ensayos complementarios (2009/10) donde no hubo limitantes de disponibilidad de agua se observó en ambos suelos y en especial en los suelos Argiudoles que la respuesta a la fertilización con N guardó una estrecha relación inversa con el N inicial del suelo. En la Figura 33 se grafica la respuesta a la aplicación de N en  $\text{kg ha}^{-1}$  en función del N inicial:

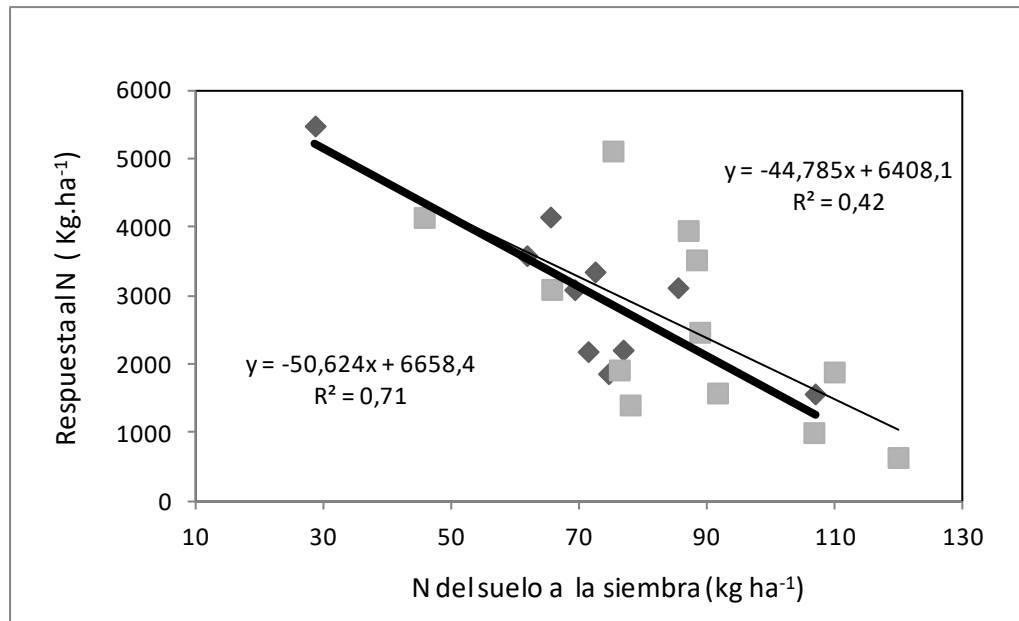


Figura 33: Respuesta a la dosis máxima de N en función con el contenido de N inicial ( $\text{N-NO}_3^-$ ) del suelo de 0 a 60 cm en Argiudoles (rombos) y línea de ajuste (línea gruesa) y en Hapludoles (cuadrados) y línea de ajuste (línea fina) en la campaña 2009/10.

Puede verse que en esta campaña en la cual las precipitaciones fueron apropiadas para los cultivos, la respuesta a la fertilización con N guardó una relación inversa con el N inicial del suelo a la siembra. Según la ecuación de ajuste lineal por cada kg de N inicial en el suelo la respuesta del maíz a la fertilización disminuyó en  $51 \text{ kg ha}^{-1}$  en Argiudoles y  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  en Hapludoles.

En las Figuras 34 y 35 puede verse para los suelos Hapludoles la relación entre la respuesta al agregado de N en relación al Nan y a la MOJ respectivamente en los ensayos de las campañas 2005/06 y 2006/07.

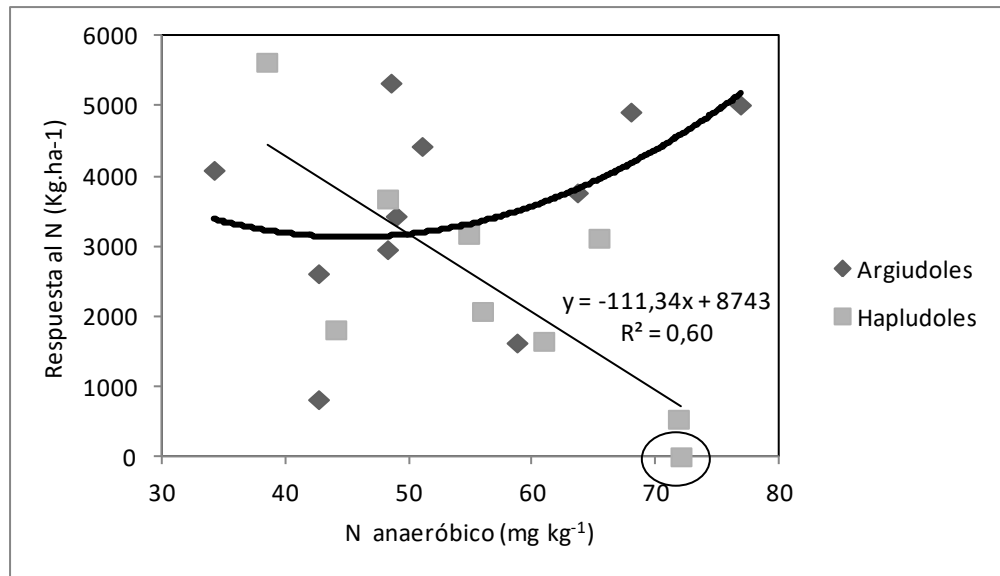


Figura 34: Relación entre la respuesta al N adicional y el Nan (0 a 20 cm) Argiudoles (rombos y línea gruesa) y Hapludoles (cuadrados y línea angosta) campañas 2005/2006 y 2006/2007. Resaltado con elipse el sitio ER 9.

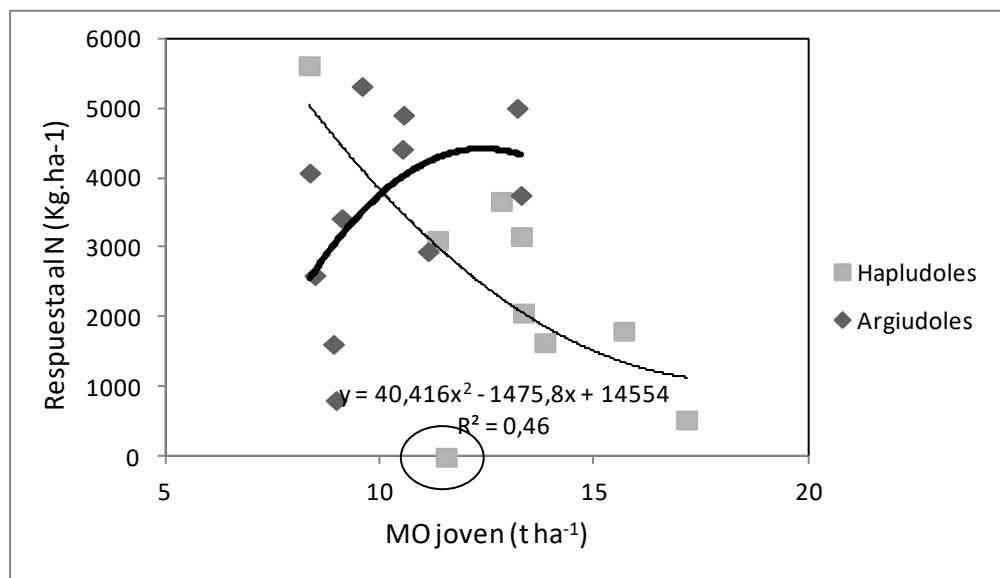


Figura 35: Relación entre la respuesta al N adicional y la MO joven en Argiudoles (rombos y línea gruesa) y Hapludoles (cuadrados y línea angosta) campañas 2005/2006 y 2006/2007. Resaltado con elipse el sitio ER 9.

Puede verse en las Figuras 34 y 35 que en los Hapludoles tanto el Nan como la MO joven fueron buenos indicadores a la hora de explicar la respuesta a la fertilización con N ( $R^2$  0,60 y  $R^2$  0,46). A menor nivel de Nan y/o de MOJ la respuesta a la fertilización con N fue mayor. A modo ilustrativo se destaca el caso de ER 9 el cual teniendo un

nivel promedio de MO joven ( $11,7 \text{ t ha}^{-1}$ ) pero un alto valor de Nan ( $72,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ), la respuesta al agregado de N fue nula.

La matriz de correlaciones del AMCP mostró coeficiente de correlación significativos para la relación de la respuesta con el Nan en los suelos Hapludoles:  $r: -0,76, p < 0,05$  y con la MOJ  $r: -0,70 p < 0,05$ ; Tabla 12.

En los Argiudoles la respuesta a la fertilización tuvo un comportamiento diferente con el nivel de MOJ y con el Nan. Si bien la correlación es no significativa puede observarse que las mayores respuestas a la fertilización en estos sitios se dieron conforme mejoraron las condiciones del suelo. La matriz de correlaciones del AMCP mostró coeficientes de correlación *positiva* con la MOJ y con el Nan. ( $0,43, \text{ns}$  y  $0,38, \text{ns}$ , respectivamente; Tabla 11).

En la campaña 2011/12 que tuvo escasas precipitaciones se realizó una serie de ensayos complementarios. La respuesta al agregado de N adicional en la producción de grano en suelos Hapludoles en relación con la MOT se puede ver en la Figura 36.

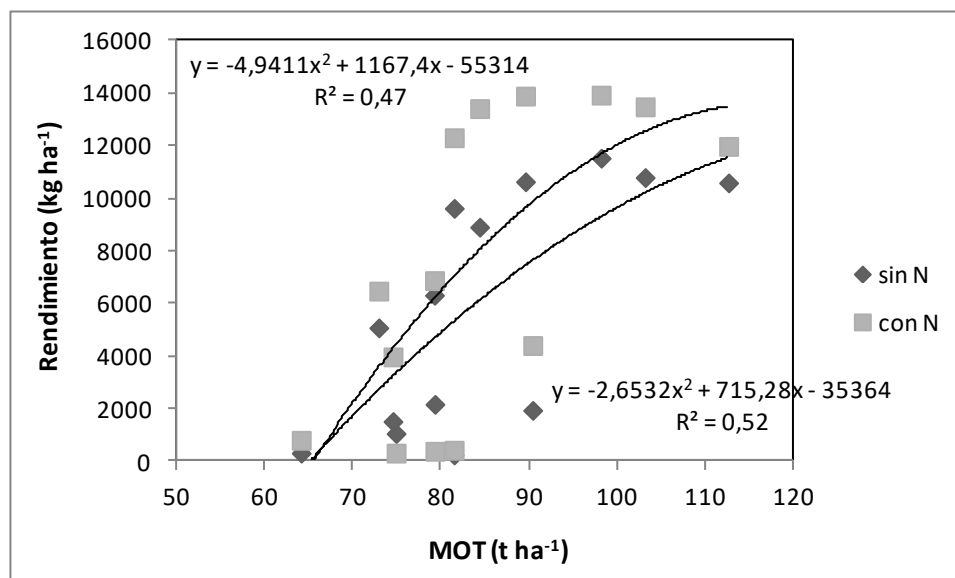


Figura 36: Relación entre la producción de grano y la MOT en las parcelas sin y con N en los sitios de suelos Hapludoles. Ensayos complementarios de la campaña 2011/12.

En la Tabla 16 se muestran los valores más destacados de la matriz de correlaciones múltiples con los respectivos coeficientes de correlación y la significancia estadística para la producción de grano.

Tabla 16: Producción de grano. Coeficientes de correlación entre el rendimiento de grano en kg ha<sup>-1</sup> de los tratamientos con y sin fertilización adicional con N, la respuesta al N y algunos parámetros del suelo y climáticos y su significancia estadística en Argiudoles y Hapludoles en la campaña. Ensayos complementarios campaña 2011/12.

Argiudoles n:15	Rendimiento con N				
Rendimiento sin N	0,83**				
Respuesta al N	0,61*				
Hapludoles n:15	MOT	MO/a+l	AUS	pp Octubre Enero	AUS + pp Octubre Enero
Rendimiento sin N	0,67*	0,70**	0,77**	0,81**	0,86**
Rendimiento con N	0,63*	0,63*	0,78**	0,73**	0,84**
Respuesta al N			0,60*		0,56*

p<0,01: \*\* y p<0,05: \*

La Tabla 16 muestra que en los suelos Argiudoles el rendimiento de los maíces testigo sin fertilizante nitrogenado adicional y aquellos con fertilizante adicional y la respuesta al N estuvieron mutuamente correlacionados.

En la Tabla 16 también se observa que en los Hapludoles el rendimiento sin N adicional y con N adicional también aumentó en la medida que aumentó el contenido de MOT y el Índice MOT/a+l.

Los resultados encontrados en la campaña 2011/12 corroboran la importancia de las variables de suelo relacionadas con la MO como condicionantes de la producción de materia seca total y del rendimiento en grano en especial. La condición climática de la campaña con un marcado déficit hídrico acentuó esta situación.

#### 4.8. Producción de materia seca de planta entera de maíz en relación con la MOT y la MOJ

En la campaña 2011/12 que tuvo escasas precipitaciones, la respuesta al agregado de N adicional en la producción de materia seca (planta entera) también resultó mayor en la medida que aumentó el contenido de MO. En las Figuras 37, 38 y 39 y en la Tabla 17 puede observarse esta situación. La caracterización de los sitios de ensayos se encuentra detallada en el Anexo 5, Tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

También en estos suelos vuelve a reflejarse la influencia de la MOT sobre la producción de MS ha<sup>-1</sup>. En la Tabla 17 se muestra que la correlación fue muy significativa para el maíz sin fertilizante nitrogenado ( $r: 0,68 \text{ } p<0,01$ ) y para el maíz con N adicional ( $r: 0,69 \text{ } p<0,01$ ).

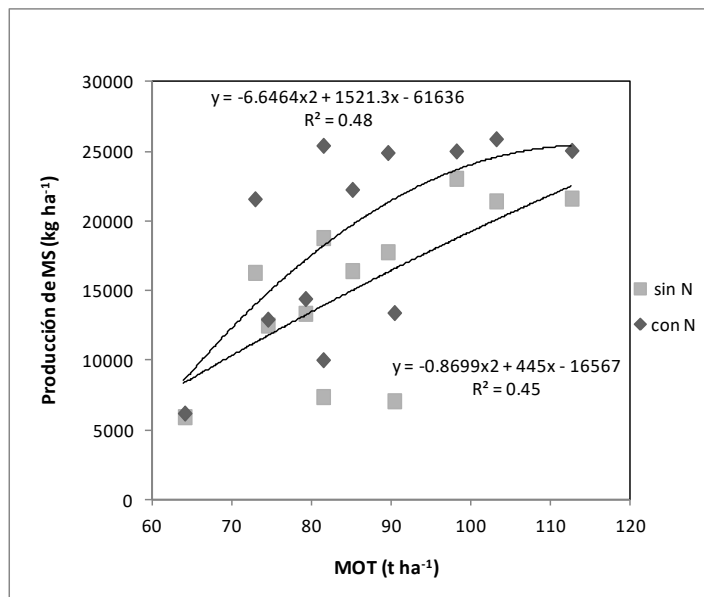


Figura 37: Relación entre la producción de MS con la MOT en el maíz sin N (cuadrados) y con N (rombos) en Hapludoles. Ensayos complementarios de la campaña 2011/12.



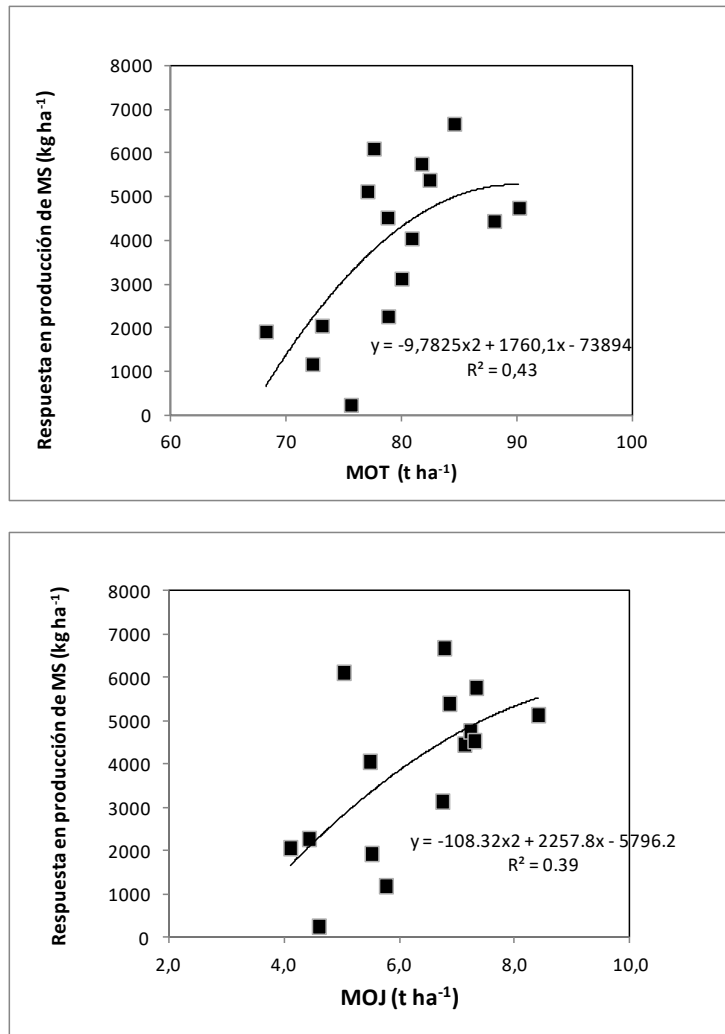


Figura 38: Relación entre la respuesta al N en la producción de MS con la MOT (figura superior) y con la MOJ (figura inferior) en suelos Argiúdoles. Ensayos complementarios de la campaña 2011/12.

Tabla 17: Producción de Materia Seca. Coeficientes de correlación entre la producción de MS en kg ha<sup>-1</sup> de las parcelas con y sin fertilización con N, la respuesta al N y la MOT en t ha<sup>-1</sup> y en %, el índice MOT/a+l, la MOJ en t ha<sup>-1</sup> y en %, el agua útil a la siembra (AUS) y las precipitaciones (pp) de Octubre a Enero y su significancia estadística en ensayos complementarios campaña 2011/12.

Argiudoles n:15	MOT t ha <sup>-1</sup>	%MOT	MO/a+l	%MOJ	MOJ t ha <sup>-1</sup>	pp Octubre Enero	
Rendimiento sin N						0,55*	
Respuesta al N	0,62*	0,53*	0,61*	0,66**	0,62*		
Hapludoles n:15	MOT t ha <sup>-1</sup>	%MOT	MO/a+l	MOJ t ha <sup>-1</sup>	AUS	pp Octubre Enero	AUS + pp
Rendimiento sin N	0,68**	0,63*	0,59*		0,78**	0,74**	0,83**
Rendimiento con N	0,69**	0,61*	0,58*	0,55*	0,87**	0,71**	0,89**
Respuesta al N					0,60*		0,55*

p< 0,01: \*\* y p< 0,05: \*

Puede observarse que a medida que aumentó el contenido de MOT y de MOJ aumentó la respuesta en producción de materia seca total al agregado de N en los suelos Argiudoles.

En esta campaña en ambas zonas geográficas, las precipitaciones fueron muy escasas en el período de crecimiento de los cultivos. En la zona de suelos Hapludoles fue de 316 mm desde el 1 de Octubre al 31 de Enero en promedio y los cultivos sufrieron déficit hídrico donde no hubo influencia de napa freática. En el mes de Diciembre las lluvias fueron de 27 y 20 mm en promedio en los suelos Argiudoles y Hapludoles respectivamente.

Ante una situación hídrica tan extrema para los cultivos como resultó esta campaña en especial en los suelos Argiudoles, la calidad del sitio determinó el potencial del mismo y su capacidad de respuesta al N. En la Tabla 16 se ve que la respuesta en producción de materia seca con la fertilización nitrogenada correlacionó con la masa de

MOT ( $r: 0,62$   $p<0,05$ ), con el % MOT ( $r: 0,53$   $p<0,05$ ), con el % MOJ ( $r: 0,66$ ,  $p<0,01$ ) y con el Índice MOT/a+1 ( $r: 0,62$ ,  $p<0,05$ ). Cuánto mejores condiciones de suelo se registraron expresado en estos índices hubo una mayor respuesta al N. En la Figura 36 se observa una tendencia a una respuesta mayor en la producción de MS conforme aumenta la MOT y la MOJ.

Puede verse que los mayores niveles de MOT, de MOJ y del índice MOT/a+1 permitieron a los cultivos responder mejor al agregado de N con una mayor producción de MS.

#### 4.9. Modelos de regresión lineal múltiple

Se elaboraron modelos de regresión lineal múltiple para cada una de las zonas geográficas por separado considerando que las variables de suelo poseen diferente influencia en cada zona. En la Tabla 18 se muestran los modelos seleccionados en función de variables de suelo y clima con los correspondientes coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y determinación ajustada ( $R^2$  Aj). El coeficiente  $R^2$  mide el porcentaje de la variación de Y explicada por la relación con las variables del modelo.

Tabla 18: Modelos de regresión lineal múltiple del rendimiento de maíz testigo sin N adicional, del rendimiento de los tratamientos con N adicional, del rendimiento relativo (RR) y de la respuesta en kg ha<sup>-1</sup> al agregado de N adicional en Argiudoles (Arg.) y Hapludoles (Hapl.) en función de parámetros de suelo y clima.

	Modelo	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj
Arg. Sitios sin N adicional	Y: -7478 + 3843* (MOT/a+l)	0,82	0,80
Hapl. Sitios sin N adicional	Y: 6743 + 47,3 * N suelo	0,67	0,62
Hapl. Sitios sin N adicional	Y: 2643 + 34,4 * N suelo + 92,6 * Nan	0,82	0,76
Hapl. Sitios sin N adicional	Y: 151,0 + 30,1 * N suelo + 80,3* Nan + 274,8 * MOJ	0,89	0,82
Arg. con N adicional	Y: -11974,2 + 4354,4 * (MOT/a+l) + 17,0 * pp Dic + 17,2 * N (suelo + fert)	0,86	0,80
Hapl. con N adicional	Y: 6997,1 + 12,8 * N (suelo + fert) + 55,8 * Nan	0,60	0,58
Arg. RR (%)	RR: 58,3 + 0,16* N (suelo + fert)	0,69	0,69
Arg. RR (%)	RR: 50,2 + 0,16* N (suelo + fert) + 0,15*Nan	0,71	0,70
Hapl. RR (%)	RR: 76,8 + 0,09 * N (suelo + fert)	0,59	0,58
Hapl. RR (%)	RR: 68,5 + 0,08 * N (suelo + fert) + 0,16 * Nan	0,62	0,60
Respuesta en Arg.	Rta: 2005,3 + 15,4 *pp Dic	0,65	0,61
Respuesta en Hapl.	Rta: 8718,6 – 25,2 *N suelo – 71,1 *Nan	0,88	0,83
Respuesta en Hapl.	Rta: 10511 – 22,1 *N suelo – 62,2 *Nan – 197,6 * MOJ	0,94	0,91

N suelo: N suelo a la siembra (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de 0 a 60 cm, Nan: nitrógeno anaeróbico (mg kg<sup>-1</sup>), Índice MO/a+l y MOT (0-20 cm).

El primer modelo que explica el rendimiento de los cultivos de maíz testigo sin N adicional en los suelos Argiudoles tiene en cuenta el Índice MOT/a+l. Este modelo explica un 80% de las variaciones en el rendimiento y coincide con lo que muestra el gráfico biplot de la Figura 9 donde ese rendimiento está vinculado estrechamente con el Índice. En el caso de los Hapludoles se presentan tres modelos que utilizan para explicar el rendimiento las variables de suelo: el N inicial del suelo, el Nan y la MOJ. El modelo

que incluye las tres variables explica un 82% del rendimiento. En el gráfico biplot de la Figura 10 también el rendimiento se ve asociado con esas variables.

En el caso de los cultivos fertilizados con N adicional se presenta un modelo para los suelos Argiudoles que incluye el Índice MOT/a+l, las precipitaciones en diciembre y el N suelo a la siembra + el proveniente del fertilizante. Este modelo explica el 80% de la variación del rendimiento. En el caso de los Hapludoles se presenta un modelo que incluye el N inicial del suelo más el del fertilizante y el Nan. Este modelo explica el 58% del rendimiento.

En cuanto al RR, los modelos que utilizan las variables N inicial (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) más N del fertilizante y el Nan explicaron un 70% y un 60% del rendimiento para Argiudoles y Hapludoles respectivamente.

En cuanto a la respuesta a la fertilización con N adicional, en Argiudoles el modelo presentado incluye además de la constante, las lluvias del mes de diciembre tal como también sugiere el gráfico biplot de la Figura 9 al mostrar asociadas la respuesta a esa variable. En los Hapludoles el modelo más completo incluye además de la constante, el N inicial del suelo, el Nan y la MOJ todos con signo negativo explicando el 91% del rendimiento. El gráfico biplot de la Figura 10 también muestra que la respuesta está inversamente relacionada con esas variables.

## 5. Discusión

### 5.1. Relaciones entre variables del suelo

En los suelos Argiudoles se observó una correlación de las variables MOJ con la MOT, con el Índice MOT/a+1 y con el Nan. También del Nan con la MOT y con el Índice MOT/a+1. En los Hapludoles se observó una correlación significativa de la MOJ con la MOT y con el Índice MOT/a+1 pero no del Nan con las otras variables. (Figuras 3, 4, 5, 6 y Tabla 17).

Al contrario de lo hallado en el presente trabajo, Diovisalvi *et al.* (2010) encontraron una estrecha relación entre el Nan y las distintas fracciones de carbono orgánico (CO), carbono orgánico particulado (COP) y carbono orgánico asociado (COA) a la fracción mineral, en suelos de textura gruesa (% de arena mayor o igual a 50%) pero no en suelos de textura fina atribuyéndolo a la mayor proporción de COA que de COP en estos suelos y también a la protección del N potencialmente mineralizable dentro de los micro agregados en suelos de textura fina. Muy probablemente en el grupo de sitios de suelos Argiudoles analizados en este trabajo se encontró una variabilidad tal que finalmente permitió encontrar estas relaciones.

Reussi Calvo *et al.* (2014c) encontraron una asociación significativa entre los contenidos de carbono orgánico total (COT) y Nan ( $R^2$ : 0,50) a nivel regional en un estudio sobre suelos agrícolas de toda la provincia de Buenos Aires. Estos autores encontraron contenidos de Nan que variaron entre 12 y 260 mg kg<sup>-1</sup> según la zona, siendo mayores los niveles en el Este asociado en parte a mayores niveles de MOT y menores en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Algunos sitios del Este de la provincia presentaron altos y bajos contenidos de Nan aún para niveles medios de MO lo cual se explicaría por la diferente historia agrícola de los lotes. En ese sentido Genovese *et al.* (2009) comprobaron una disminución en la concentración de Nan frente

al aumento en los años de agricultura coincidente también con una disminución de la MOT y de la MOJ.

En el presente trabajo de tesis en 7 de los 9 sitios de los suelos Hapludoles, se superaron las  $48 \text{ mg kg}^{-1}$ , valor considerado umbral entre sitios con y sin respuesta al agregado de N según Calviño *et al.* (2005) para el sur de la provincia de Bs As, registrándose un valor promedio  $56,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . En Argiudoles del sur de Santa Fe, en 8 de los 11 sitios se superó ese valor umbral y el promedio de los sitios evaluados fue de  $53,1 \text{ mg kg}^{-1}$ . Estos valores de N se encuentran un 10% por arriba del rango de valores citados para esos sitios en el trabajo de Reussi Calvo *et al.* (2014c) que muestra determinaciones realizadas entre 2010 y 2013.

## 5.2. Relación del rendimiento con la disponibilidad de agua

El rendimiento de todos los sitios correlacionó con la oferta total de agua (lámina de agua a la siembra más las precipitaciones durante el ciclo). Se comprobó una relación lineal hasta los 670 mm tanto en los sitios sin fertilizante nitrogenado adicional como en los que lo tuvieron y a partir de la cual no hubo mejoras en el rendimiento (Figuras 7. Se ajustó un modelo polinómico único para todas las situaciones. Con ese modelo se estableció un valor de  $\text{AUS} + \text{pp}$  de 843 mm donde el rendimiento fue máximo y de  $13081 \text{ kg ha}^{-1}$ .

En el grupo de Argiudoles en la campaña 2005 2006 (año Niña) todos los sitios tuvieron  $\text{AUS} + \text{precipitaciones}$  inferiores al valor umbral de 670 mm donde las lluvias promedio de la zona para los meses de Octubre a enero fueron de 282 mm. En el caso de los Hapludoles en todos los sitios y en las dos campañas se llegó al umbral de 670 mm con lluvias que promediaron 381 mm.

### 5.3. El rendimiento, la respuesta al N y los factores que los afectan

La variación del rendimiento de maíz en Argiudoles se relacionó estrechamente con parámetros determinantes de la *fertilidad potencial* de los suelos: las variables MOT, MOT/a+l, MOJ y Nan explicaron en mayor grado la variación del rendimiento de maíz y resultaron parámetros consistentes para caracterizar el potencial de cada sitio. En este sentido el índice MOT/a+l fue el que mejor desempeño tuvo con los coeficientes de correlación más altos. Estos resultados muestran que la MOT es uno de los principales parámetros que caracterizan la calidad y productividad del suelo (Larson *et al.* 1985; Colazo *et al.* 2006; Manlay *et al.* 2006; Galantini y Suñer, 2008; Pan *et al.* 2009). También Novelli *et al.* (2012 y 2013) y Wilson y Sasal (2014), hacen referencia a la importancia que una mayor intensidad de cultivos con grandes aportes de residuos tienen sobre los contenidos de MOT y estos sobre los rendimientos de los cultivos en los suelos pampeanos con alto contenido de limo

Como señala Ferrari (2009) la correcta valoración del potencial productivo de un lote permite realizar una mejor aproximación a la dosis correcta de N a aplicar. Los parámetros de *fertilidad potencial* mencionados podrían utilizarse en los suelos Argiudoles con ese objetivo.

En los Argiudoles en las campañas analizadas no se comprobó relación significativa del N disponible como  $\text{N-NO}_3^-$  a la siembra con el rendimiento y la respuesta de maíz a la fertilización nitrogenada básicamente debido a la carencia de precipitaciones en especial en la campaña 2005/06. Sin embargo en una tercera campaña de ensayos complementarios (2009/10) sí se encontró una estrecha relación de esos parámetros.

En Argiudoles, la respuesta a la fertilización con N correlacionó positivamente con las precipitaciones de Diciembre ( $0,81 \text{ } p < 0,01$ ). El modelo de regresión lineal múltiple que se presenta es el que incluye las lluvias del mes de diciembre por lo que podría



inferirse que la respuesta a N estuvo más vinculada a limitaciones hídricas y por las características climáticas de la campaña que condicionaron esa misma respuesta y el rendimiento.

Por el contrario Correndo *et al.* (2012) en el sur de Santa Fe, no encontraron correlación entre la respuesta al N con el agua total en el suelo, a la siembra o en floración, o con las precipitaciones durante todo el ciclo o en el período crítico (Diciembre-Enero).

En sitios de suelos Argiudoles en años climáticamente diferentes (año Niño vs año Niña), el N inicial disponible en el suelo como  $\text{N-NO}_3^-$  más el fertilizante explicó el 49% y el 38% de las variaciones de rendimiento pero con diferencias de  $5000 \text{ kg ha}^{-1}$  o más entre los dos años. Las DOE como es evidente deberían ser diferentes.

Anteriormente Alvarez *et al.* (2003), establecieron que la respuesta del rendimiento de maíz a la disponibilidad de N estuvo regulada fuertemente por las precipitaciones. La curva de bajos rendimientos correspondió a una sub población de datos con precipitación media durante el ciclo del cultivo de 528 mm, la de rendimientos medios de 611 mm y la de rendimientos altos de 674 mm. El algoritmo de recomendación de fertilización con N tiene en cuenta esta diferente potencialidad de los cultivos.

También Gregoret *et al.* (2005) encontraron que la disponibilidad de agua durante el ciclo de cultivo fue influenciada por el relieve y explicó en gran parte la variación de los rendimientos y la respuesta al N.

Espósito *et al.* (2006) trabajando en una zona de régimen climático templado subhúmeda en el sur de Córdoba, encontraron que la respuesta a la fertilización nitrogenada del maíz dependió de las condiciones hídricas del cultivo en  $V_6$  y del balance desde un mes previo a la siembra hasta ese momento. Aclaran los autores que

las condiciones climáticas afectaron no solo la mineralización de la MOS sino también el potencial de rendimiento de los cultivos.

En un trabajo ya citado, Pagani *et al.* (2008) comprobaron que la potencialidad del año condicionó la DOE en mayor medida que la relación de precios *N*: *grano de maíz*, por lo que a la hora de fertilizar, la definición del rendimiento objetivo del cultivo cobra mayor relevancia aún que la relación de precios.

También Otegui (2009) señala que los rendimientos esperables difirieron en una magnitud de casi tres veces para un año clasificado como Niña (fuerte deficiencia hídrica) y de otro clasificado como Neutro (buena provisión hídrica) y la eficiencia agronómica de uso del N (kg grano producido por kg de N disponible a la siembra más el N del fertilizante) fue casi tres veces mayor en la situación de buena oferta hídrica (75,8) que en la de sequía (26,9) estableciendo umbrales de respuesta (N del suelo + fertilizante) en presiembra de 136, 160 y 193 kg ha<sup>-1</sup> para años con perspectivas poco favorables, años promedio y años muy favorables respectivamente. De la misma forma en el presente trabajo de tesis se indican dos umbrales para los suelos Argiudoles de acuerdo a la condición climática del año y para una relación de precios 13: 1 costo del Nitrógeno: costo del maíz, de 108 kg ha<sup>-1</sup> para Argiudoles de bajo Índice MOT/a+1 y año Niña y de 200 kg ha<sup>-1</sup> para suelos Argiudoles en año Niño. En el primer caso vale la aclaración que se incluye tan solo dos sitios de ensayos.

En suelos del sudeste de la provincia de Córdoba, Sánchez y Muñoz (2008) determinaron un umbral crítico de respuesta de 216 kg ha<sup>-1</sup> de N en años donde el agua no fue una limitante para la producción de granos y de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N en una campaña con limitantes hídricas.

Espósito *et al.* (2010) encontraron en el análisis de 12 ensayos de maíz en Córdoba con distintas dosis de N, que los modelos de respuesta debieron ser ajustados con los

parámetros topográficos de cada sitio lo cual estaría relacionado con la disponibilidad hídrica del suelo en las distintas posiciones del paisaje.

En relación con esto Salvagiotti *et al.* (2011) para calcular las DOE determinaron dos umbrales críticos de N a partir del cual no encontraron respuesta al agregado de N. Estos serían de 137 y 161 kg ha<sup>-1</sup> para bajos y altos potenciales de producción respectivamente. Utilizando los modelos cuadrático plateau y esférico, establecieron las DOE para esos suelos y para tres relaciones de precios maíz: nitrógeno. Los autores no indican parámetros del suelo que puedan orientar acerca del potencial de cada sitio y solamente lo establecen en función del máximo rendimiento factible de obtener mayor o menor a 9520 kg ha<sup>-1</sup>.

En los suelos Hapludoles en este trabajo de tesis se encontró un umbral de 204 kg ha<sup>-1</sup> para una relación de precios de 13 a 1 N: maíz. Este valor es un 10% más bajo del establecido por Sánchez y Muñoz (2008), pero en nuestro trabajo 2 de los 9 sitios experimentados tenían un contenido de MOJ y o de Nan muy por encima del promedio de la zona por lo que en esos sitios cobra más importancia el N proveniente del suelo durante el ciclo.

El agregado del N estimado a partir del valor del Nan mejoró la explicación de las variaciones del rendimiento en un 26% y en un 10% para Argiudoles y Hapludoles respectivamente (Figuras 13 y 14). Reussi Calvo *et al.* (2013b), encontraron mejoras del 7 y del 13% para las regiones del sur de Santa Fe y Balcarce cuando a la explicación del rendimiento en función del N suelo + fertilizante se le agregó el N estimado en función del Nan. Los autores aclaran que la mayor contribución del Nan en ambientes como Balcarce se explicaría en parte por la menor temperatura y por ende el menor aporte de N por mineralización previo a la siembra del cultivo. Esto sumado a los mayores contenidos de MOT que caracterizan estos ambientes, limitaría la capacidad

predictiva de la determinación de  $\text{N-NO}_3^-$  en presiembra del cultivo. En los resultados de esta tesis y los encontrados por Orcellet *et al.* (2015b) en el sur de Santa Fe se muestra por el contrario que el N estimado proveniente del Nan contribuyó decididamente en la explicación de los rendimientos de los cultivos.

#### 5.4. El rendimiento relativo (RR) a la máxima dosis de N y los umbrales de N.

Cuando el rendimiento se expresa en forma relativa al obtenido con la mayor dosis de N de cada sitio, el N disponible total (suelo + fertilizante) explicó con una curva de ajuste cuadrática el 77% y el 76% en Argiudoles y Hapludoles respectivamente. La correlación mejora ya que al expresarse el rendimiento en forma relativa a la máxima dosis se descartan las diferencias que existen entre los distintos sitios tanto de condiciones de suelo como de disponibilidad de agua.

Si el objetivo es alcanzar el 95% del potencial, los valores de N al cual llevar el suelo en Argiudoles sería de  $210 \text{ kg ha}^{-1}$  y en Hapludoles de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Si al N disponible total se adiciona en cada sitio el N estimado a partir del valor del Nan la curva de ajuste cuadrática que resulta con los RR, posee valores explicativos un 11% menores en el caso de los suelos Argiudoles y un 2% mayor en los Hapludoles.

De esas ecuaciones se puede deducir que para alcanzar un 95% del rendimiento relativo se necesitan  $366 \text{ kg N ha}^{-1}$  y  $335 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el sistema N del suelo + N del fertilizante + N del Nan para Argiudoles y Hapludoles respectivamente. En el trabajo ya citado realizado en el sur de Santa Fe, en Carmen de Patagones y en Balcarce, Reussi Calvo *et al.* (2013b), determinaron que para obtener el 95 % del rendimiento máximo era necesario una disponibilidad de N aproximada de  $410 \text{ kg N ha}^{-1}$  en el sistema N del suelo + N del fertilizante + N del Nan en un rango de rendimientos similar al encontrado en el presente trabajo de tesis. Esta diferencia de necesidad de N estaría

marcando o un diferente potencial de las zonas geográfica o que el factor de conversión 3,6 debería recalcularse para la zona norte pampeana.

### 5.5. Modelos explicativos del rendimiento

Se elaboraron modelos lineares de regresión lineal múltiple (Tabla 18) que explican el rendimiento del maíz sin N adicional, modelos de rendimiento con distintos niveles de N suelo + fertilizante, modelos del rendimiento relativo a la máxima dosis de N y modelos que explican la respuesta a la fertilización con N adicional.

En los suelos Argiudoles el rendimiento sin N adicional es bien explicado con el Índice  $MOT/a+1$ . En Hapludoles el rendimiento sin N adicional se visualiza con modelos que al incorporar sucesivamente el contenido de N inicial ( $N-NO_3^-$ ) del suelo de 0 a 60 cm, el Nan y la MOJ van mostrando mejoras en el % de explicación y finalmente el modelo que incluye esas tres variables explica el 80% del rendimiento.

En cuanto a los modelos de los sitios con N adicional en los Argiudoles se muestra un modelo que incluye el Índice  $MOT/a+1$ , las precipitaciones del mes de diciembre y el N inicial suelo + fertilizante y que explica el 80% de las variaciones del rendimiento. En el caso de los Hapludoles se incluye un modelo que incluye el N inicial suelo + fertilizante y el Nan.

Si bien estos resultados tienen limitantes del escaso número de campañas consideradas surge de los mismos que en Argiudoles tiene importancia la variación de los contenidos de MO en relación con la fracción mineral y está claro que la textura del suelo tuvo una mayor influencia en Argiudoles que en Hapludoles. En Hapludoles las fuentes de N más disponibles han tenido una mayor relevancia.

En cuanto al RR, los modelos que utilizan las variables N inicial ( $N-NO_3^-$ ) más N del fertilizante explicaron el 69% y el 58% del RR para Argiudoles y Hapludoles

respectivamente. Cuando se agregó el contenido de Nan los modelos pasaron a explicar el 70% y el 60% respectivamente. En una red en el sur de la Región Pampeana Argentina, Sainz Rozas *et al.* (2008) determinaron que la medición conjunta del contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  y Nan en suelo mejoró la estimación de la disponibilidad de N para el cultivo, tanto a la siembra como en  $V_6$ . Los modelos que incluyeron el N inicial a la siembra explicaron el 37% del RR y cuando se incorporó el Nan, los modelos explicaron el 57% del RR aclarando que observaron una mayor contribución parcial del Nan para el muestreo a la siembra respecto al de  $V_6$ .

En cuanto a la respuesta a la fertilización adicional con N adicional, en Argiudoles el modelo que se presenta en este trabajo es el que incluye las lluvias del mes de diciembre destacando la importancia del factor climático para mejorar el rendimiento con N adicional. En los Hapludoles donde las lluvias y la disponibilidad hídrica fueron apropiadas y donde las raíces de los cultivos pueden explorar mayores profundidades, los modelos que incluyen el N inicial del suelo, el Nan y la MOJ explican el 91% del rendimiento.

#### 5.6. Otras consideraciones del rendimiento con las variables de suelo

En suelos Argiudoles se observó que en los sitios con bajos valores de MOT y de Índice  $\text{MOT}/a+1$  el agregado de N como única práctica no permitió alcanzar los rendimientos que se alcanzaron en los sitios con altos valores de estas variables.

En suelos Hapludoles la MOJ y el Nan explicaron el 37% y el 56% de la variación del rendimiento de los cultivos de maíz sin N adicional. La fertilización con N mejoró en promedio un 20% el rendimiento de todos los sitios. En los sitios con menores niveles de MOT, MOJ y de Nan el aumento del rendimiento fue hasta del 70% lo que mostró que el nivel de N disponible era la principal limitante del rendimiento. Se infiere

que el aporte de N por fertilizantes hizo menos dependiente al cultivo del aporte de N proveniente de la MO del suelo.

Este resultado coincide con lo encontrado por Quiroga *et al.* (2005). En los suelos Hapludoles donde existe una buena provisión de agua y donde los cultivos pueden explorar mayores profundidades de suelo, la limitante principal es el N disponible que puede ser corregido con fertilización. Así, cuando el N no estuvo disponible (sitios con baja MOJ o bajo Nan) los rendimientos fueron bajos. Una vez solucionada esta limitante se alcanzaron rindes similares a los sitios donde la MOJ o el Nan tenían valores más altos.

El Nan explicó el 52% y el 56% de la variabilidad del rendimiento del maíz sin N adicional para Argiudoles y Hapludoles respectivamente aunque otros grupos de trabajo encontraron valores superiores a estos. Así en suelos con contenidos de arena superiores al 62% en el sur de Santa Fe pero con ambientes bien contrastantes por el relieve (loma, media loma y bajo) Reussi Calvo *et al.* (2012) encontraron que el Nan explicó el 77% de la variabilidad del rendimiento de las parcelas testigo sin fertilizante. En esa experimentación los autores aclaran que el contenido de arena explicó el 70% de la variación en el contenido de Nan del suelo.

En los ensayos realizados en el presente trabajo de tesis las diferencias de los contenidos de Nan pueden ser debidos a la historia agrícola de los sitios y no a la posición en el paisaje ya que no se trabajó en ambientes contrastantes. Reussi Calvo *et al.* (2014)c encontraron en el NO de la provincia de Buenos Aires valores de Nan que variaron entre 35 y 49 mg kg<sup>-1</sup>. En el Norte de la región pampeana Orcellet *et al.* (2015b) encontraron que el Nan varió entre 18 y 33 mg kg<sup>-1</sup>. En este último trabajo el modelo combinado entre el Nitrógeno de suelo inicial y el Nan explicó el 72 y 68 % de

la variación del rendimiento 0N, con un aporte parcial del Nan del 49 y 32 % para maíces tempranos y tardíos, respectivamente.

En los suelos Argiudoles la respuesta al uso de N adicional aumentó en la medida que el rendimiento de los sitios sin fertilizante y con fertilizante también aumentó, ( $r$ : 0,53 ns y  $r$ : 0,83  $p < 0,01$  respectivamente - Tabla 11). Se observó en estos suelos que la respuesta dependió del potencial del sitio con una tendencia a una mayor respuesta al agregado de N en la medida que las precipitaciones del mes de diciembre aumentaron y en la medida que los sitios tuvieron mayores niveles de MOT, de MOJ y de Nan. También Martínez *et al.* (2006), en el centro sur de Santa Fe, encontraron que los mayores incrementos en los rendimientos por el agregado de N se obtuvieron en los suelos con menores limitaciones (mayor capacidad productiva). Puede sorprender que a mayor contenido de MO mejore la respuesta a la fertilización. Sin embargo, existen estudios que muestran que en estos suelos, que poseen en su composición granulométrica importantes contenidos de limo y horizontes B fuertemente texturales, pueden presentarse limitantes físicas que condicionen el rendimiento y consecuentemente la respuesta a N. A medida que resultan menores los contenidos de MO se acentúan los condicionantes físicos.

Paralelamente Ferraris *et al.* (2012) en una red de ensayos de fertilización con N y P en maíz en toda la región Norte de Buenos Aires, encontraron respuestas a la fertilización con dosis únicas de N de 150 kg ha<sup>-1</sup>, que oscilaron entre el 14,7 y el 24,1 %. Los sitios con suelos Argiudoles típicos de textura fina y muy fina o costeros presentaron las respuestas mayores en % (del 19,1 y 24,1%) a pesar de los menores rendimientos frente a los Hapludoles o Argiudoles francos.

En el presente trabajo de tesis en los suelos Hapludoles la respuesta al N resultó inversa del nivel de N inicial del suelo, del nivel de Nan y del contenido de MOJ.



También resultó inversa del rendimiento del testigo sin N adicional. Por lo tanto a menor rendimiento sin fertilizante nitrogenado hubo una mayor respuesta a la fertilización mostrando que el N era el elemento limitante. El Nan resultó ser un buen indicador de las necesidades de N además del N disponible como nitratos a la siembra. En el caso de los Argiudoles la respuesta al N resultó inversa del nivel de N inicial del suelo y del rendimiento del testigo sin N adicional solamente en una tercera campaña de ensayos complementarios con mejores condiciones hídricas para los cultivos.

Con estos resultados y en el caso de los suelos Hapludoles, se estaría aceptando la hipótesis planteada de que a un mayor contenido de MOT, MOJ o Nan habría una menor respuesta al agregado de N como fertilizante y por lo tanto estas variables podrían utilizarse como elementos adicionales al contenido de N inicial del suelo a la siembra para la predicción de los requerimientos de N de los cultivos de maíz.

En el caso de los suelos Argiudoles en años con limitaciones hídricas esta hipótesis no se cumpliría.

## 6. Resumen de resultados

### 6.1. El manejo de la fertilización y de las rotaciones de cultivos

Si bien existen diferencias entre las dos zonas estudiadas, queda claro que el uso de indicadores para ajustar la dosis de N es dependiente de la disponibilidad hídrica. No solamente del aporte de las precipitaciones sino de la lámina de agua disponible en el momento de la siembra.

La disponibilidad hídrica durante el cultivo para el diagnóstico de la fertilización puede ser estimada en función de los pronósticos de año Niño, Niña o Neutro. En los años Niño con menores limitantes hídricas los indicadores nutricionales de fertilidad nitrogenada tienen una mayor influencia sobre el rendimiento, pero es en años Niña donde el rendimiento del cultivo y la respuesta a la fertilización resultan significativamente influenciados por las características más estables de la fertilidad potencial de los suelos.

En relación con lo anterior una de las principales contribuciones de este trabajo es el hecho de que en Argiudoles los indicadores de fertilidad potencial como la MOT, el Índice  $MOT/a+1$ , la MOJ y el Nan caracterizaron muy bien el potencial de los sitios productivos de los suelos Argiudoles y muestran una tendencia a favorecer el rendimiento y a manifestar mayores respuestas al agregado de N en especial en campañas de condición hídrica más limitante (años Niña). A su vez señalan el camino en la búsqueda de la mejora productiva de los suelos y de mayores rendimientos a través de favorecer la acumulación de MO. En años donde el AUS más precipitaciones superan los 670 mm (años Niño), el N disponible en el suelo a la siembra resulta el elemento de mayor peso para determinar el rendimiento y la respuesta al N.

En los suelos Hapludoles resultan más evidentes las relaciones del rendimiento con la fertilidad nitrogenada. En estos suelos y cuando no ocurrieron situaciones extremas

de sequía, el Nan y la MOJ resultaron las mejores variables después del N inicial del suelo para predecir la respuesta al N.

En los suelos Hapludoles del NO de la provincia de Buenos Aires hasta el presente no se habían publicado resultados del uso de estas variables por lo que el relevamiento de los mismos en cada predio o mejor aún en cada posición en el paisaje junto con el N mineral disponible a la siembra resultará de gran utilidad para ajustar y decidir las cantidades de fertilizante nitrogenado a utilizar y los valores de N al cual llevar el suelo.

Por las razones expuestas y si bien se trata de una tarea a mediano y largo plazo, los responsables de manejo de los suelos deberían elegir los cultivos que integran la rotación buscando favorecer el incremento del contenido de MO del suelo con una alta proporción de gramíneas. Esta tarea es especialmente importante en suelos Argiudoles que poseen altos contenidos de limo y arcilla y donde algunos indicadores como el Índice MOT/a+1 muestran claramente el deterioro al que se ha llegado.

## 6.2. Conclusiones generales

El N disponible a la siembra en forma de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) condicionó los rendimientos pero interactuando con la disponibilidad de agua. En Hapludoles el rendimiento de maíz sin N y la respuesta al agregado de N adicional dependió estrechamente del N inicial disponible en el suelo y en los suelos Argiudoles esta dependencia se observó en una de las campañas de ensayos complementarios (2009/10) caracterizada por una buena disponibilidad de lluvias durante el ciclo (año Niño).

Si se analiza el rendimiento de maíz en función del N inicial ( $\text{N-NO}_3^-$ ) con el agregado de una estimación del N aportado por el suelo a lo largo de la estación de crecimiento a partir del valor del Nan, la explicación del rendimiento mejora en 26% y en 10% para suelos Argiudoles y Hapludoles respectivamente.

En ambos tipos de suelos el Nan y la MOJ resultaron las mejores variables como medidas del potencial del suelo de proveer N a los cultivos. El Nan explicó el 52% y el 56% de la variabilidad del rendimiento del maíz sin N adicional para Argiudoles y Hapludoles respectivamente

En Argiudoles las variables MOT, MOT/a+1, MOJ y Nan explicaron en mayor grado la variación del rendimiento de maíz y resultaron elementos consistentes para caracterizar el potencial de cada sitio. Esto demuestra la importancia que la materia orgánica tiene para estos suelos con altos contenido de limo y arcilla.

En Argiudoles la respuesta a la fertilización con N correlacionó con las precipitaciones registradas en Diciembre y durante el ciclo (Octubre a Enero). La importancia de las variables de suelo relacionadas con la MO como condicionantes de la producción de materia seca total y del rendimiento en grano se corroboró en los ensayos complementarios de la campaña 2011 2012 que fue una campaña con un marcado déficit hídrico.

En Hapludoles la respuesta al agregado de N resultó inversa al rendimiento de los sitios testigo sin N y tuvo una correlación inversa con el nivel de N inicial, con el Nan y con la MOJ. En Argiudoles la respuesta a la fertilización con N aumentó en la medida que mejoró la condición de los sitios cuantificado por el Índice MOT/a+1, la MOJ y el Nan.

Se elaboraron modelos lineares de regresión lineal múltiple que explican el rendimiento del maíz sin N adicional, el rendimiento del maíz según los distintos niveles de N inicial suelo + fertilizante, el rendimiento relativo a la máxima dosis de N y la respuesta en rendimiento al agregado de N adicional.

En los suelos Argiudoles los modelos seleccionados utilizan fundamentalmente el Índice MOT/a+1, las precipitaciones del mes de diciembre y el N inicial suelo +

fertilizante. En Hapludoles los modelos seleccionados utilizan el N inicial del suelo ( $\text{N-NO}_3^-$ ), el Nan y la MOJ y cuando las tres variables son incluidas el modelo explica el 82% de la variación del rendimiento

La respuesta a la fertilización con N adicional en Argiudoles se ve reflejada en un modelo que utiliza las precipitaciones del mes de diciembre y en los Hapludoles el modelo seleccionado tiene en cuenta el N inicial del suelo ( $\text{N-NO}_3^-$ ), el Nan y la MOJ.

Por todo lo expuesto es aceptada la hipótesis planteada para los suelos Hapludoles de utilizar parámetros como el N incubado anaeróbico, la MO joven, la MO total y el Índice  $\text{MOT/a}+1$ , para una mejor estimación de la oferta de N al cultivo además del contenido de  $\text{N-NO}_3^-$ . En los suelos Argiudoles la hipótesis es aceptada solo parcialmente.

Los resultados preliminares hallados en el presente trabajo reflejan la importancia de continuar con estas líneas de investigación que contribuyan a mejorar los ajustes locales del diagnóstico de las necesidades de N por ejemplo para años climáticos contrastantes, presencia o no de napas, cultivo antecesor, ciclos tempranos o tardíos, diferentes híbridos de maíz e incluyendo la variabilidad espacial existente en los predios.

## 7. Referencias bibliográficas

Alvarez, R. 1999. Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizante nitrogenado de trigo y maíz. EUDEBA, 58 pág.

Alvarez, C, Alvarez, R, Steinbach, H.S. 2001. Prediction of soil nitrate in depth using nitrate concentration in the upper layer. Comm. Soil Sci. Plant Analysis. 32: 759-769

Alvarez R. y C. Alvarez. 2003. Fertilización nitrogenada en maíz en la Pampa Ondulada. Editorial Facultad de Agronomía.UBA. 6 pp.

Alvarez R., H. Steinbach, C. Alvarez y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. Informaciones Agronómicas 18:14-19. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

Alvarez, CR; Alvarez, R y A. Sarquis. 2004a. Destino del nitrógeno del fertilizante (15N) en cultivos de trigo bajo distintos sistemas de labranza. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, actas en CD.

Alvarez, R.; H. S. Steinbach; S. M. Grigera; E. Cartier; G. Obregón; S. Torri and R. García. 2004b. The balance sheet method as a conceptual framework for nitrogen fertilization of wheat in a Pampean Agroecosystem Agron. J. 96:1050–1057.

Alvarez, R. (Ed.) 2005. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía.UBA.174 pp.

Alvarez R.; H. Steinbach; A. Roveri; J. Salas; O. Montane y S. Grigera. 2005. Aporte de nitrógeno al maíz desde los componentes orgánicos del suelo en la pampa ondulada. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar. Rosario, Santa Fe. Argentina. 16-18. Noviembre 2005. pp. 133-136. (y en CD).

Alvarez, R. 2006. Balance de Nitrógeno en cultivos de trigo INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 105.

Alvarez R., H. Steinbach, C. Alvarez y S. Grigera. 2006. Mineralización de nitrógeno en suelos de la Pampa Ondulada. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy Pp 317 y CD Rom.

Alvarez R. 2006. Balance de carbono en los suelos. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica de trigo campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 105.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2003a. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)). ASTM D 698, West Conshohocken, Pa.

Andriulo, A.; J. Galantini; C. Pecorari y E. Torioni, 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. Agrochimica (Italia) XXXIV (5-6) 475-489.

Atlas de Suelos de la República Argentina. 1990. SAG y P – INTA – Proyecto PNUD ARG/85/019. Tomo 1. 732 pp.

Barbazán, M. y F. O. García. 2015. Evaluación de la fertilidad y recomendaciones de fertilización. Pp: 379-399. En: H. E. Echeverría y F.O. García (eds.). En Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

Barbieri, P.A.; H.E. Echeverría y H.R. Sainz Rosas. 2005 Concentración crítica de nitrato en el suelo en función del distanciamiento entre hileras de maíz. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar, Rosario. Santa Fe. Argentina. 16-18 Noviembre 2005. pp 103-106 (y en CD).

Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, and H.R. Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 27:115-125.

Barraco, M. y M. Díaz-Zorita 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en Hapludoles típicos. *Ciencia del Suelo* 23: (2) 197-203.

Barraco, M. y M. Díaz-Zorita 2006. Fertilización postergada de nitrógeno en maíz en la región de la Pampa Arenosa. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Pp: 305. y CD Rom.

Benintende, M.C., S.M. Benintende, M.A. Sterren, C. Musante, M. Saluzzio y J.J. De Battista. 2007. Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. *Agriscientia* v.24 n.2.

Bianchini A., M.E. Magnelli, D. Canova, S.N. Lorenzatti, D. Peruzzi, J. Rabasa, A. Sylvestre Begnis y F.O. García. 2005. Diagnóstico de Fertilización Nitrogenada para Maíz en Siembra Directa. En: *Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar*. Rosario, Santa Fe. Argentina. 16-18 Noviembre 2005. pp. 230-233. (y en CD).

Bonel J.A., P. Novello, A.I. Legasa, B.L. Masiero y G. Ayub. 1978. Método de diagnóstico para el asesoramiento técnico de fertilización nitrogenada del trigo y del maíz. *Publicación técnica N° 5. EERA Marcios Juárez, INTA* 23p.

Bouyoucos, G.: Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, *Agron. J.*, vol. 54: 464-465, 1962.

Bray, R., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. p. 1149–1178. In C.A. Black et al (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*. 1st ed. ASA, Madison, WI.

Bundy, L.G., and J.J. Meisinger. 1994. Nitrogen availability indices. p. 951-984. In R.W. Weaver et al (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. SSSA Book Ser. 5*. ASA and SSSA, Madison, WI.



Bushong, J.T., R.J. Norman, W.J. Ross, N.A. Slaton, C.E. Wilson, Jr., and E.E. Gbur, Jr. 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:2799–2813.

Bushong, J.T., T.L. Roberts, W.J. Ross, R.J. Norman, N.A. Slaton, and C.E. Wilson, Jr. 2008. Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolyzable amino sugar-nitrogen as a means of predicting nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:992–999.

Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.

Calviño, PA y HE Echeverría. 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 21: 24-29.

Calviño P., H. Echeverría, H. Sainz Rosas, M. Redolatti y P. Barbieri. 2005. Contribución de la capacidad de mineralización del suelo al diagnóstico de requerimientos de nitrógeno en maíz. En: *Actas VII Congreso Nacional de Maíz*, pp.182-185. Rosario, Santa Fe. Noviembre 2005. AIANBA, Pergamino.

Cambardella, CA & ET Elliot. 1992. Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequences. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.

Cas, R.A.F, and Wright, J.V. 1987. *Volcanic successions*. Chapman & Hall, London, 528 pp.

Chan, K.Y. 1997. Consequences of changes in particulate organic carbon in vertisols under pasture and cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1376–1382.

Colazo, J.C.; Blanco, P.; Becker, A.; Bouza, P.; del Valle, H.; Quintero, C.; Boschetti, G.; de Dios Herrero, J.; Osterrieth, M. Alvarez, M. F.; Borrelli, N. y D. E. Buschiazzo. 2006. Estabilidad estructural en suelos de Argentina. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, CD-ROM

Cordone, C.; F. Martínez y G. Gerster. 2005. El maíz en la secuencia de cultivos. Efecto sobre el contenido de C orgánico y sobre el estado estructural del suelo. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar. Rosario, Santa Fe. Argentina. 16-18. Noviembre 2005. pp. 133-136. (y en CD).

Correndo, A.A.; Boxler, M. y García, F.O. 2012. Oferta hídrica y respuesta a la fertilización en maíz, trigo y soja en el Norte de la Región Pampeana Argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.

Cosentino, D.J. y C. Pecorari. 2002. Limos de baja densidad: impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la Región Pampeana. Ciencia del Suelo 20 (1): 9-16.

Cosentino, V.R..N.; Brutti, L.N.; Civeira, G. y M.A. Taboada. 2015 Aporte de la fijación biológica de nitrógeno a la emisión de  $N_2O$  desde el suelo con cultivo de soja. Ciencia del suelo. 33(2): 313-321.

Cozzoli, M.V.; N. Fioriti; G. A. Studdert; G. F. Domínguez y M.J. Eiza. 2010. Nitrógeno incubado anaeróbico y fracciones de carbono en macro y micro agregados bajo distintos sistemas de cultivo. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.

Daverede, I. 2005 Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT): Nuevo método para diagnosticar necesidades de nitrógeno en maíz. En: Actas Simposio Fertilidad 2005. Rosario, Santa Fe; abril 2005. pp 30-34.

Díaz Valdez, S., García, F., & Caviglia, O. (2014). Maíz tardío en Entre Ríos, Argentina: Calibración de umbrales críticos en nitrógeno. ipni.net. 3 pp.

Díaz Zorita, M. y G.Duarte. 1997. Fertilización nitrogenada de maíz en el oeste bonaerense. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

Diovisalvi, N.V.; N.I. Reussi Calvo; G. A. Studdert y G.F. Dominguez. 2010 Relación entre el Nitrógeno incubado anaeróbico y fracciones de carbono orgánico en suelos con diferente textura. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Domínguez, G. F. 2004. Materia orgánica particulada: su relación con dos sistemas de labranza y con el rendimiento de maíz en un molisol de Balcarce (Doctoral dissertation, Tesis de Magister Scientiae en Producción Vegetal, Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. Mar del Plata. Balcarce).

Domínguez, G.F.; G. Studdert; M. Eiza; N. Diovisalvi y N. Fioriti, 2006. Relación entre la materia orgánica y el rendimiento de maíz. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, CD-ROM

Draper, N.R.; Smith, H. 1998. Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons Inc., New York, 3rd Ed.

Echeverría, HE y Bergonzi, R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos agrícolas del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Boletín Técnico N° 134. EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires. 15 p.

Echeverría, HE, San Martín, N, Bergonzi, R.2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. Ciencia del Suelo 18: 9-16.

Echeverría H.E. y H.R.Sainz Rozas. 2005. Maíz. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. pp. 255-282.

Echeverría, H.E. Sainz Rozas, H. y P. Barbieri. 2005. Métodos de diagnóstico de requerimientos de nitrógeno en maíz. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar. Rosario, Santa Fe. Argentina. 16-18. Noviembre 2005. pp. 441-444. (y en CD).

Echeverría, HE., D. Dignani, G. Ferraris, C. Galarza, V. Gudelj, F. Gutierrez Boem, P. Prystupa, H. Sainz Rosas, F. Salvagiotti, P. Vallone y G. Prieto. 2006. Red de ensayos de fertilización nitrogenada en maíz. Convenio de Vinculación Tecnológica INTA-Asociación Civil Fertilizar 2005-2006. En: Foro Técnico: Presentación de Resultados Convenio Fertilizar Asociación Civil-INTA, 8 p. Buenos Aires. Diciembre 2006. INTA –Fertilizar Asociación Civil, Buenos Aires (en CD).

Echeverría, H.E., Sainz Rosas, H. y P. Barbieri. 2014. Fertilización de cultivos. Maíz y sorgo. pp 435-478. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. (H. E. Echeverría, F. García. Eds.) 2da ed. Buenos Aires. Ediciones INTA. 2014.

Espósito, G.; Castillo, C. y R. Balboa. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). R.RIA, 35 (3):45-63. Diciembre 2006. INTA, Argentina.

Espósito, G.; Robledo, W.; Bongiovanni, R.; Ruffo, M. y R. Balboa. 2010. Manejo sitio específico del nitrógeno ajustado por atributos espaciales del terreno. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina (y en CD).

Faccendini, N. R., R. J. M. Melchiori; O. P. Caviglia, y O. F. Paparotti. 2008. Evaluación de métodos para estimar la mineralización de nitrógeno a campo. XXI Congreso Argentino de la –ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. Actas en CD.

Elliott, E. T. and Coleman, D. C. 1988. Let the soil work for us. Ecological Bulletins 39:23-32.

Ferrari M.C., J.J. Ostojic, L.A. Ventimiglia, H.G. Carta, G.N.Ferraris, S.N. Rillo, M.L.R. de Galetto y F.M. Rimatori. 2001. Assessing soil and plant nitrogen tests for corn in the Humid Pampas (Argentina). In: Annual Meetings Abstracts, Charlotte, North Carolina, USA, October 2001. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. (en CD).

Ferrari, M. 2009 Las MPM para los cultivos y sistemas de producción de maíz en la región pampeana central. En: Actas Simposio Fertilidad 2009. Rosario 12 de mayo 2009. pp 286-302.

Ferraris, G.N.1.; Mousegne, F.; Barraco, M.; Couretot, L.; Alvarez, C.; Barosela, H.; Bojorge, A.; Cavo, J.; Cassina, E.; Lemos, E.; López de Sabando, M.; Magnone, G.; Martín, A.; Melilli, P.;Paganini, A.; Pereyro, A.; Pontoni, R.; Scianca, C.; Solá, R.; Tellería, M.G. y L. Ventimiglia. 2012. Respuesta a fósforo y nitrógeno en maíz en Norte Centro Oeste de Buenos Aires. Efecto año, tipo de suelo y nivel de rendimiento. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.

Ferreira, AR; GP Podestá; CD Messina; D Letson; J Dardanelli; E. Guevara y S. Meira. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 107:177-192.

Galantini, J.A., 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACS. Capitulo IV parte 2, 103-114.

Galantini, J.A. y L. Suñer, 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia* XXV (1): 41-55.

García F., K. Fabrizio, M. Ruffo y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

García, F.O.2002. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Aproximaciones zonales. En: Guia Dekalb del Cultivo de Maíz (E. Satorre, ed.) pp 57-75. Servicios y Marketing Agropecuario-Monsanto Argentina S.A., Buenos Aires.

García F. y A. Berardo. 2005. Trigo. In H. Echeverría y F. García (ed.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA. Buenos Aires. pp. 233-253.

García F.; Boxler M.; Minteguiaga J.; Blanco H.; Houssay R.; Deza Marín G. y Berardo A. 2005. Efectos directos y residuales de la fertilización en maíz: Resultados de la red de nutrición CREA sur de Santa Fe. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar. Rosario, 16-18 Noviembre 2005. pp. 154-157.

García F. e I. Daverede. 2007. Diagnóstico para recomendación de fertilización nitrogenada en cultivos de interés económico. In T. Yamada, S. Abadía y G. Vitti (ed.). Nitrogenio e enxofre na agricultura brasileira. IPNI Brasil. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. pp. 277-320. ISBN 978-85-98519-03-6.

García F. e I. Daverede. 2008. Diagnóstico para recomendación de fertilización nitrogenada en cultivos de interés económico. En: Actas XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Pp: 1-28. Quito, 29 al 31 de octubre de 2008.

Genovese, F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert, and H. Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino azúcares en suelos: Calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico Ciencia del Suelo 27:225-236.

Gianello, C., and J.M. Bremner. 1986a. A simple chemical method for assessing potentially mineralizable organic nitrogen in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17:195–214.

Gianello, C., and J.M. Bremner. 1986b. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17:215–236.

Gianello, C., and J.M. Bremner. 1988. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19:1551–1568.

Golchin, A.; Oades, J. M.; Skjemstad, J. O. and Clarke, P. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Aust. J. Soil Res.* 32:1043-1068.

Gregoret, M.C.; R.G.Bongiovanni; J. Dardanelli; y M. Díaz Zorita. 2005 Análisis de la respuesta sitio-específica al nitrógeno en maíz. Parte II: Curvas de Respuesta. En: *Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar, Rosario. Santa Fe. Argentina. 16-18 Noviembre 2005.* pp 141-144 (y en CD).

Griffin, T.S. 2008. Nitrogen availability. p. 616–646. In J.S. Schepers and W.R. Raun (ed.) *Nitrogen in agricultural soils. Agron. Monogr.* 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison WI. Citado en: *Assessing Indices for Predicting Potential Nitrogen Mineralization in Soils under Different Management Systems.*

Gutiérrez Boem, F., G. Rubio y R. Alvarez. 2005. Diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes. En: R. Alvarez (Coord). *Fertilización de Cultivos de Granos y Pasturas. Diagnostico y Recomendación en la Región Pampeana.* Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires, Argentina. pp 27-36.

Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale, y W. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers.* Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, EE. UU. 7a. edición. 515 pag.

Haynes, R.J., 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.

Jarvis, S.C., Stockdale, E.A., Shepherd, M.A., and Powlson, D.S. 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Process and measurement. *Advances in Agronomy*, 57: 187–235.

Jung, S., D.A. Rickert, N.A. Deak, E.D. Aldin, J. Recknor, L.A. Johnson, y P.A. Murphy. 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80:1169–1173.

Kader, M. A. ; S. Sleutel; S. A. Begum; K. D’Haene; K. Jegajeevagan & S. De Neve. 2010. Soil organic matter fractionation as a tool for predicting nitrogen mineralization in silty arable soils. *Soil Use and Management*, 26, 494–507.

Keeney, D.R. 1982. Nitrogen-availability. p. 711–733. In A.L. Page et al (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. Monogr. 9.* ASA and SSSA, Madison, WI.

Khan, S.A., R.L. Mulvaney y R.G. Hoef. 2001. A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1751-1760.

Ladd, J. N.; Foster, R. C. and Skjemstad, J. O. 1993. Soil structure: Carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma* 56:401-434.

Larson, W. E.; Fenton, T. E.; Skidmore, E. L.; Benbrook, C. M. 1985. Effects of soil erosion on soil properties as related to crop productivity and classification. In: *Soil erosion and crop productivity*. Editors: Follett, R.F.; Stewart, B.A. pp. 189-211

Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. 1998. *SAS System for linear models*. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 633 pp.

Magdoff F. R., D. Ross y J. Amdon. 1984. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1301-1304.

MAGYP - Sistema Integrado de Información Agropecuaria - SIIA - Av. Paseo Colón 982 Piso 3 - (C1063ACW Buenos Aires) - <http://www.siaa.gov.ar/>

Manlay, R.J.; Feller, C. and M.J. Swift. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (2007) 217–233.



Manlla, A. y Salvagiotti F. 2010. Validación del modelo hybrid maize en condiciones optimas de crecimiento. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz, pp.97-98. Rosario, Santa Fe. Noviembre 2010. AIANBA, Pergamino.

Martínez F., Cordone G. y D. Buschittari. 2006. Alternativas de manejo según la capacidad productiva del suelo. Combinación del híbrido y la dosis de N. En: Para Mejorar la Producción N° 32. EEA Oliveros INTA. 103 – 105 pp.

Meisinger, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil–crop systems. p. 391–416. In Nitrogen in crop production. ASA, CSSA, Madison, WI. (U.S.A.).

Meisinger J. J., F. Magdoff y J. Schepers. 1992. Predicting N fertilizers needs for corn in humid regions: Underlying principles. In Predicting N fertilizers needs for corn in humid regions. B. Bock y K. Kelly (ed.). Bulletin Y-226. TVA/NFERC-92/2. Tennessee Valley Authority - National Fertilizer and Environmental Research Center. Muscle Shoals, Alabama, (U.S.A.).

Melchiori R., O. Paparotti y W. Paul. 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz: Nitratos en preescardillada. Serie de Extensión No. 11. EEA INTA Paraná. Entre Ríos.

Mengel, K; B. Hütsch and Y. Kane. 2006. Nitrogen fertilizer application rates on cereal crops according to available mineral and organic soil nitrogen. Europ. J. Agronomy 24 (2006) 343–348.

Morrás H J M. 1995. Mineralogy and cation exchange capacity of the fine silt fraction in two soils for the southern Chaco Region (Argentina). Geoderma 64: 281 - 295.

Mulvaney, R.L.; Khan, S. A.; Hoeft, R. G. and H. M. Brown. 2001. A Soil Organic Nitrogen Fraction that Reduces the Need for Nitrogen Fertilization. SOIL SCI. SOC. AM. J., 65: 1164-1172.

Mulvaney, R. L.; Khan, S. A. and T R Ellsworth. 2006. Need for a Soil-Based Approach in Managing Nitrogen Fertilizers for Profitable corn production. Soil Science Society of America Journal; 70: 172-182.

Neeteson J.J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. Fert. Res. 26:291-298.

NOAA/ National Weather Service. Historical information. Nov. 2016. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml#history>

Novelli L.E., Caviglia O.P., Wilson M.G., Sasal M.C. 2012. Estabilidad de agregados y almacenaje de carbono con diferentes usos de la tierra. Anales XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Abril 2012 Mar del Plata, Argentina. Trabajo en CD. ISBN 978-987-1829-11-8.

Novelli L.E., Caviglia O.P., Wilson M.G., Sasal M.C. 2013. Land use intensity and cropping sequences effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. Geoderma. 195-196: 260-297.

Orcellet, J.M.; N.I. Reussi Calvo; H.E. Echeverría; H.R. Sainz Rozas y A. Berardo. 2015a. Mineralización de nitrógeno en maíz: efecto de zona y fecha de siembra. Actas CD Simposio Fertilidad 2015 “Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro”. Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC.

Orcellet, J.M.; N.I. Reussi Calvo; H.E. Echeverría; H.R. Sainz Rozas; N.V. Diovisalvi y A. Berardo. 2015b. ¿Podemos mejorar el diagnóstico de nitrógeno en maíz en la región pampeana? Actas CD Simposio Fertilidad 2015 “Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro”. Rosario, 19-20 Mayo 2015. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC.

Otegui, M.E. 2009 Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS). (IPNI). # 44. 5 pp.

Pagani, A.; HE Echeverría; HR Sainz Rozas y PA Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 26: 183-193.

Pagani, A.; H E. Echeverría, P. A. Barbieri y H. R. Sainz Rozas. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas. IPNI Cono Sur. # 39*: 14-19.

Pan, G.; P. Smith and W. Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 129, 1–3, 344–348.

Parkin T. 1984. Soil microsites as a source of denitrification variability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1194-1199.

Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S., 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 1173–1179.

Pecorari C, Guerif J, Stengel P. 1990. Fitólitos en los suelos pampeanos argentinos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de los mecanismos elementales de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo* 8: 135-141.

Pegoraro, V.; M. Boccolini, C. Lorenzon, C. Cazorla, y T. Baigorria. 2012. Comparación de métodos para la determinación de nitrógeno anaeróbico en suelos. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 4 pág.

Picone I. I. y C. Videla. 2011. Gases efecto invernadero: El rol del suelo en las emisiones de óxido nítrico. En: Actas Simposio Fertilidad 2011. Rosario 18 y 19 de mayo 2011. pp 251-254.

Picone I. I., Videla, C., Bayer, C., Rizzalli, R. y Garcia, F. 2013. Emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono en maíz bajo sistemas de producción con distinta intensificación. En: Actas Simposio Fertilidad 2013. Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable. 22 y 23 de Mayo, Rosario, Santa Fe, Argentina. pp 257-265.

Quemada, Miguel and Díez, Jose Antonio. 2007. Available Nitrogen for Corn and Winter Cereal in Spanish Soils Measured by Electro-ultrafiltration, Calcium Chloride, and Incubation Methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38: 15, 2061- 2075.

Quiroga, A., D.E. Buschiazzi y N. Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of semiarid Argentinian Pampas. *Soil Sci.* 161:104-108.

Quiroga, A. 2005; Materia orgánica en molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre las propiedades físicas y productividad. INTA, EEA Anguil- CC 11- 6326-Anguil (L.P), e-mail: [aquiroga@anguil.inta.gov.ar](mailto:aquiroga@anguil.inta.gov.ar)

Quiroga, A.; Funaro, D. y R. Fernández. 2005. Propiedades edáficas en Molisoles bajo siembra directa. En: Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Boletín de Divulgación Técnica N° 87 INTA, EEA Anguil- CC 11- 6326-Anguil (L.P). Pp 3-17.

Quiroga, A.; Saks, M.; Funaro, D. y R. Fernández. 2006. Aspectos del manejo del agua y la nutrición nitrogenada de maíz en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pp 248.

Quiroga, A.; Fernández, R.; Funaro, D. y N. Peinemann. 2008. Materia orgánica en Molisoles de la región semiárida pampeana. Influencia sobre propiedades físicas y productividad. En: “Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina” Ed. J.A. Galantini. Editorial Universidad Nacional del Sur – Ediuns, pp 97-116.

Reussi Calvo, N.I., A. Berardo, y N. Diovisalvi. 2012a. Contribución del nitrógeno incubado en anaerobiosis al diagnóstico de nitrógeno en maíz. XIX Congreso

Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.

Reussi Calvo, N.I., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, A. Berardo, y N. Diovisalvi. 2012b. Contribución del nitrógeno incubado en anaerobiosis al rendimiento del cultivo de trigo. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 16 al 20 de Abril, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.

Reussi Calvo, N.I., H.R. Sainz Rozas, H.E. Echeverría y A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105:321-328.

Reussi Calvo, N.; H.R. Saiz Rozas, A. Berardo, H.E. Echeverría, and N. Diovisalvi. 2013b. ¿Contribuye el Nan a mejorar el diagnóstico de nitrógeno en maíz? Simposio de Fertilidad. 22 y 23 de Mayo, Rosario, Santa Fe, Argentina. 269-272.

Reussi Calvo, N.; H.R. Saiz Rozas, A. Berardo, H.E. Echeverría, and N. Diovisalvi. 2014a. Can a Soil Mineralization Test Improve Wheat and Corn Nitrogen Diagnosis? *Better Crops/Vol. 98 (No. 2).* 12-14.

Reussi Calvo, N.; Echeverría, H.E; Sainz Rozas, H.; Berardo, A.and Diovisalvi, N. 2014b. Contribución de la mineralización al diagnóstico de nitrógeno en los cultivos. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 5 al 9 de mayo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 8 pág.

Reussi Calvo, N.; Calandroni, M.; Studdert, G.; Cabria, F.; Diovisalvi, N.; Berardo, A. 2014c. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de Buenos Aires. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 5 al 9 de mayo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD 6 pág.

Reussi Calvo, N.; Studdert, G.A.; Calandroni, M.B: Diovisalvi, N. V.; Cabria, F.N. y A. Berardo. 2014d. Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en suelos agrícolas de Buenos Aires. *Ci Suelo.* 32 (2): 189-196.

Rice, C. y J. Havlin. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. Pp. 1-13. In: J. Havlin y J. Jacobsen (eds) Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations. SSSA Spec. Pub. 40. SSSA. Madison, WI, USA.

Ritchie S., J. Hanway y G. Benson. 1993. Como se desarrolla una planta de maíz. Reporte Especial No. 48. Iowa State University. Edición en español de INPOFOS Cono Sur (2002).

Ruffo, M.L., D.G. Bullock, R.G. Hoelt y G.A. Bollero. 2005. Spatial variability of the Illinois Soil Nitrogen Test: Implications for soil sampling. Agron. J. 97:1485-1492.

Ruffo, M.L. y C. Michiels. 2010. Experiencias en manejo sitio-específico de nitrógeno en Estados Unidos y Argentina. En: Actas IX Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Rosario, Santa Fe. Argentina. 17-19 Noviembre 2010. pp. 540-541. (y en CD).

Ruiz R.A., E. H. Satorre, G.A.Maddoni, D.F.Calderini, D.J. Miralles, J.Cárcova y M.R. Di Nápoli. 1997. Bases funcionales de la respuesta a la fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires. En: Actas VI Congreso nacional de Maíz. Tomo II pp 121-128 Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 1997. AIANBA, Pergamino

Ruiz R.A., E. H. Satorre, G.A.Maddoni, J. Cárcova y M.E. Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. En: Actas VII Congreso nacional de Maíz. 2 p. Pergamino, Buenos Aires, Noviembre 2001. AIANBA, Pergamino (en CD)

Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert y G. Dominguez. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. Agron. J. 92:1176- 1183.

Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri PA. 2004. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. Agron. J. 96:1622-1631.

Sainz Rozas, H; Calviño, P.; Echeverría, H. E ; Barbieri, P. and M. Redolatti. 2008. Contribution of Anaerobically Mineralized Nitrogen to the Reliability of Planting or presidedress Soil Nitrogen Test in Maize. *Agron. J.* 100:1020–1025.

Sainz Rozas H., Echeverria H.E. & Angelini H. 2011. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ci. Suelo* 29:29-37.

Salvagiotti, F.H. Pedrol, J. Castellarín, 2002. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. II. Relación entre la respuesta en rendimiento y la concentración de N-NO<sub>3</sub>- en el suelo en el estadio V4-V6. En: *Maíz Campaña 2001/2002*, pp. 71-74. Para mejorar la Producción 20, EEA Oliveros, INTA.

Salvagiotti, F., Pedrol, H.M., Castellarín, J.M., Cordone G., Capurro, J., Felizia, J.C., Gargicevich, A., Gentile, O., Martínez F., Méndez J., Prieto G., Trentino, N. 2004. Umbrales de nitrógeno a la siembra para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz según el potencial de rendimiento. Para mejorar la producción - INTA Oliveros 26[MAIZ], 84-88.

Salvagiotti, F.; Castellarín, J.; Ferraguti, F.J., Dignani, D. y H.M. Pedrol. 2010. Umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz y dosis óptima económica según potencial de producción. En: *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina. (y en CD).

Salvagiotti, F.; Castellarín, J.; Ferraguti, F.J. y H.M. Pedrol. 2011. Dosis óptima de nitrógeno en maíz según potencial de producción. *Ci Suelo* 29 (2): 199-212.

Sanchez, M. A. y S. J. Muñoz. 2008. Fertilización nitrogenada de maíz en el sudeste de Córdoba. *Informaciones agronómicas del Cono Sur.* # 39. pp 20-22.

Satorre, E., Ruiz, R., Miralles, D., Calderini, D., & Maddoni, G. (2001). Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de

Santa Fe y Centro de AACREA. Wheat Tech. Bull. AACREA. Buenos Aires, Argentina, 30-38.

Schepers, J. y J. Meisinger. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. Pp. 31-47. In: J. Havlin y J. Jacobsen (eds) Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations. SSSA Spec. Pub. 40. SSSA. Madison, WI, USA.

Schomberg, H.H., Wietholter, S., Griffin, T.S., Reeves, D.W., Cabrera, M.L., Fisher, D.S., Endale, D.M., Novak, J.M., Balkcom, K.S., Raper, R.L., Kitchen, N.R., Locke, M.A., Potter, K.N., Schwartz, R.C., Truman, C.C. & Tyler, D.D. 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. Soil Science Society of America Journal, 73, 1575–1586.

Seber, G.A.F. 1977. Linear Regression Analysis. John Wiley & Sons. New York. 465 pp.

Senigagliesi C. 1984. Pautas para la fertilización química. Carpeta de Producción Vegetal, Tomo VI, Serie Maíz, Información N° 57. EERA Pergamino, INTA, 3p.

Serna, M.D. and Pomares, F. 1992. Evaluation of chemical indices of soil organic nitrogen availability in calcareous soils. Soil Science Society of America Journal, 56: 1486–1491.

Sharifi, M.; Zebarth, B.J.; Burton, D.L.; Grant, C.A. and J. M. Cooper. 2007. Evaluation of some indices of N mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 71:1233-1239

Soon, Y.K., A. Haq, and M.A. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38:2029–2043.

Stanford, G. and Smith, S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Proceedings, 38: 99–102.



Steinbach HS, Alvarez R, Roveri A, Salas J, Montané O, Grigera S. 2005. Ajuste en la estimación de los requerimientos de nitrógeno del cultivo de maíz en la Pampa Ondulada. VIII Congreso Nacional de Maíz, Rosario, 158-160.

Studdert, G.A.; G. Domínguez, M. Eiza; C. Videla y H. Echeverría. 2008. Materia orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudeste bonaerense. En: “Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina” Ed. J.A. Galantini. Editorial Universidad Nacional del Sur – Ediuns, pp: 53-69.

Tan, Z.; R. Lal; L. Owens and R.C. Izaurralde, 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. Soil Till. Res. 92: 53-59

Tisdall, J. M. and Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil. Sci. 33: 141-163.

Uhart, S.A. y H.E. Echeverría 2002. Diagnóstico de la fertilización. p. 239-272. En: Andrade, F.H. y V. Sadras (eds.). Bases para el manejo de maíz, girasol y soja. INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina

Van Veen, J. A. and Kuikman, P. J. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. Biogeochemistry 11: 213-233.

Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

Waring, S.A., and J.M. Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature 201:951–952.

West, P.W. and T.P. Ramachandran. 1966. Spectrophotometric determination of nitrate using chromotropic acid. Anal Chim Acta. 35: 317-324.

Williams, J.D., C.R. Crozier, J.G. White, and D.A. Crouse. 2005. Amino sugar nitrogen test to predict nitrogen fertilizer rates in corn. Agron. Abstr. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.

Wilson, M.G. y M.C. Sasal. 2014. Estructura del suelo bajo siembra directa y su impacto productivo y ambiental. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 5 al 9 de mayo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Actas y CD. 10 pág.

Wyngaard, N.; G. Divito; H.E. Echeverría y H. Sainz Rosas. 2010. Fertilización y labranzas a largo plazo: cambios en carbono orgánico y potencial de mineralización de nitrógeno. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.

Zagame, M.C.; J.C. Carabaca; G.A. Studdert y G. F. Domínguez. 2010. Variación estacional del nitrógeno incubado anaeróbico del suelo bajo dos sistemas de labranza. En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Bolsa de Comercio de Rosario. Argentina.

Zubillaga, M.M.; J. Barros; P. Cipriotti y J. Pastori. 2005. Variación espacial del N mineralizado a nivel lote en Vedia. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA-Maizar. Rosario, Santa Fe. Argentina. 16-18 Noviembre 2005. pp. 150-153. (y en CD).

## ANEXO 1

### CLIMA, SUELO DE LAS AREAS DE ESTUDIO Y USO DE LA TIERRA

#### 1. Clima de las dos áreas de estudio: Pampa Ondulada y Pampa Arenosa

La Pampa Ondulada y la Pampa Arenosa poseen un clima templado donde las precipitaciones disminuyen hacia el sur y hacia el oeste, con un efecto moderador ejercido por el océano que produce veranos más frescos e inviernos menos rigurosos que en regiones de similar latitud de otras partes del mundo. Asimismo la no existencia de barreras topográficas de gran envergadura permite una fluida circulación atmosférica que suele producir cambios estacionales bruscos.

Se incluye aquí una descripción climática de Rosario y Pergamino que constituyen los centros de referencia para los ensayos de la Pampa Ondulada y la descripción climática de Junín y Pehuajó como centros de referencia de los ensayos del noroeste de Buenos Aires en la Pampa Arenosa.

##### 1a. Clima de la Pampa Ondulada. Datos ciudades de Rosario y Pergamino

El clima de Rosario es húmedo y templado en la mayor parte del año. Se lo clasifica como clima templado pampeano, es decir que las cuatro estaciones están medianamente definidas, aunque su invierno es bastante corto e irregular: durante esta estación, hay días fríos, frescos, templados y hasta cálidos.

Hay una temporada calurosa desde octubre a abril (de 18 °C a 32 °C, con picos que pueden superar los 40 °C) y una fría entre principios de junio y la primera mitad de agosto (con mínimas en promedio de 5 °C y máximas promedio de 16 °C), oscilando las temperaturas promedio anuales entre los 10 °C (mínima), y los 23 °C (máxima). Las precipitaciones son mayores en verano que en invierno y resultan en promedio de 933 mm en el año con variaciones entre 800 y 1300 mm.

En el observatorio meteorológico de la ciudad de Rosario, dependiente del Servicio Meteorológico Nacional, se viene registrando un incremento de la temperatura media tal como lo refleja la Figura 3 indicando la tropicalización de la región.

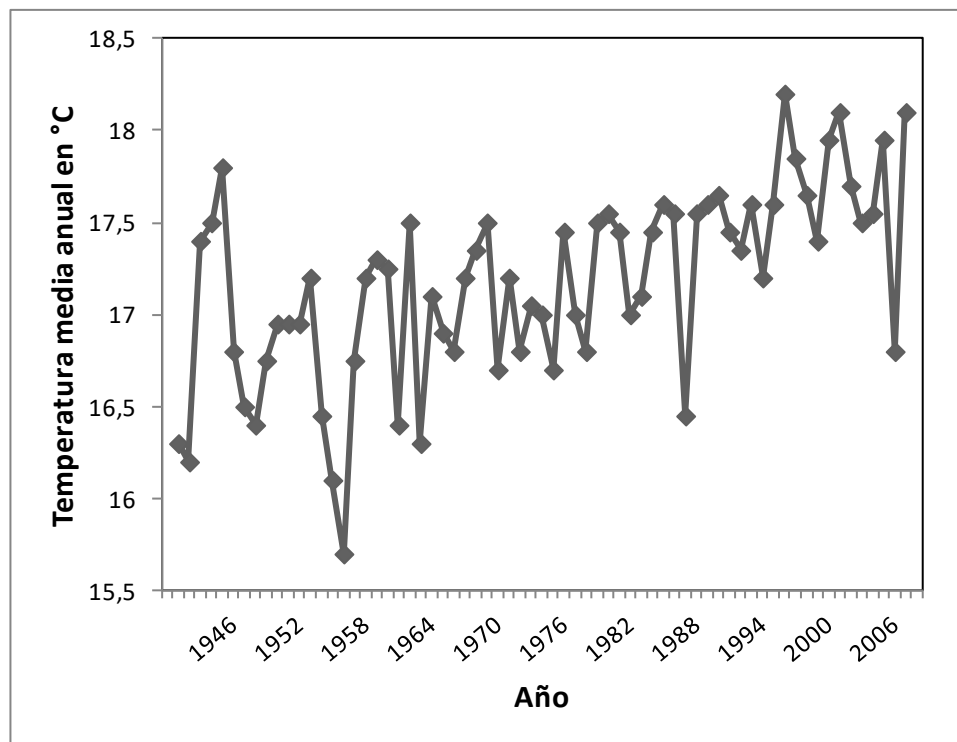


Figura 1: Temperatura media anual en °C en casilla en Rosario aeropuerto (32.9° S – 60.8° O) desde 1941 a 2007. Fuente: SMN.

Esta evolución hace prever que en el futuro se eleven los índices de evapotranspiración y que exista también como consecuencia una mayor dependencia del agua útil almacenada a la siembra de los cultivos. Cobrarán entonces mayor importancia todos los factores que hacen al almacenaje de agua en el suelo como es el contenido de MOT y la cobertura de rastrojos en superficie.

El clima de Pergamino es pampeano templado, la temperatura media en invierno es de 9,9 °C, la media en verano de 22,5 °C y la media anual de 15 °C. Los vientos de dirección noroeste son de 9 km hora. La humedad relativa del ambiente es de 74 %. La precipitación media anual fue de 973 mm en el período 1981 -1990, llegando en períodos de sequía a 697 mm y en períodos húmedos a 1.297 mm. Los meses más secos corresponden al invierno y los más lluviosos el período comprendido entre octubre y

marzo. El número medio de días con heladas es de 24,5; siendo la fecha media de la primera helada el 21 de mayo y de última helada el 9 de septiembre.

En la Tabla 1 se indican los valores promedio para Rosario y Pergamino de temperatura diaria máxima, temperatura diaria mínima y precipitación total

Tabla 1: Datos climáticos promedio de Rosario (Santa Fe) y Pergamino (Bs As).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura diaria máxima (°C)	30,9	29,2	26,6	23,2	19,7	15,9	15,7	17,9	18,9	21,7	24,6	27,7	<b>22,6</b>
Temperatura diaria mínima (°C)	17,6	16,9	14,8	11,3	7,9	4,8	4,9	5,8	7,3	10,8	13,8	16,3	<b>11,0</b>
Precipitación total (mm)	106	122	132	80	56	25	35	35	57	110	102	93	<b>953</b>

Fuente: SMN Argentina. Datos 1981 – 1990

### 1.b Clima de la Pampa Arenosa - Datos ciudades de Junín y Pehuajó

El clima en estas ciudades es templado pampeano y la temperatura media anual es de 16 °C. En el invierno la temperatura mínima media es de 4 °C y la media máxima de 15 °C, en verano la mínima media es de 16 °C y la máxima media de 29 °C. (Tablas 2).

Tabla 2: Datos climáticos promedio de las localidades de Junín y Pehuajó (Bs As)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura diaria máxima (°C)	30,3	28,5	25,7	22,2	18,1	14,5	14,3	16,9	18,9	22,3	25,6	28,8	<b>22,1</b>
Temperatura diaria mínima (°C)	16,8	16,0	13,8	10,8	6,9	4,1	3,7	4,9	6,5	10,0	13,1	15,5	<b>10,2</b>
Precipitación total (mm)	132	136	159	78	47	21	28	23	67	120	115	89	<b>1015</b>

Fuente: [SMN Argentina](#) Datos 1981-1990

Como puede verse la diferencia entre las dos áreas geográficas se encuentra en la temperatura diaria máxima (-0,5°) y en la temperatura diaria mínima (-0,8°). En cuanto a precipitaciones los registros muestran que las diferencias son nulas. Por otra parte estos datos también indican que si no existen limitantes en las condiciones del suelo las condiciones agroclimáticas para el cultivo de maíz son mejores para el área de Junín – Pehuajó que para Junín - Pergamino.

## 2. Geomorfología y suelos de las dos áreas de estudio

Según el Atlas de Suelos de la República Argentina (1990) el material originario de los suelos de ambas regiones es un espeso manto de sedimentos de edad cuaternaria que

se ha denominado “loess pampeano”. Tanto el tamaño de partículas de este material que decrece de sudoeste a noreste, como su composición mineralógica, indican que procede del noroeste de la Patagonia. Su traslado se atribuye a la acción fluvial en la iniciación del mismo y a la acción eólica cuando, en forma de polvo, tapizó toda la superficie pampeana. Esto último es claramente visible al sudoeste de la región por la presencia y alineación de antiguos cordones medanosos (ahora estabilizándose) de decenas de kilómetros de largo, notables en el oeste de la provincia de Buenos Aires y que van atenuándose hasta desaparecer en el este. Hacia el este la elevación del basamento provocó que los ríos Paraná y Río de la Plata erosionaran su lecho.

El loess pampeano es un sedimento de origen eólico de color castaño no consolidado compuesto por partículas de tamaño limo con fracciones subordinadas de arcilla y arena ricas en partículas de vidrio volcánico llamados vitroclastos (desde vestigios hasta más del 50%) y con proporciones variables de carbonato de calcio.

Desde el punto de vista mineralógico el material es esencialmente homogéneo. Es poroso y no estratificado, tiene la propiedad de mantener paredes verticales en las excavaciones o acantilados debido al esqueleto rígido que le confieren las partículas de los vitroclastos mencionados. En las partículas cristalinas predominan, entre los componentes livianos, las plagioclasas, los feldespatos potásicos y el cuarzo, entre los pesados que ocupan proporciones reducidas, se destacan la hornblenda, piroxenos y minerales opacos.

El bioma natural de la región es el pastizal pampeano, que fue modificado profundamente por la acción antrópica. La estructura de la vegetación de los pastizales correspondería a una pradera en los años húmedos y una pseudo-estepa en los períodos secos. En zonas donde los suelos son muy fértiles (la gran parte de este distrito) se desarrollaría el llamado “flechillar”, caracterizado por gramíneas del género *Stipa*.

Durante los 10 milenios de vegetación de pastizal pampeano se generaron fitolitos de tamaño arcilla, en un 20% del total de la fracción arcilla.

La modificación de la cobertura original de vegetación -producto de actividades productivas- es casi completa. Las condiciones edáficas y climáticas permiten desarrollar dos cultivos en la misma estación de crecimiento, dándole a esta subregión un carácter eminentemente agrícola. Las áreas utilizadas para la ganadería se encuentran adyacentes a los cursos de agua y en zonas cóncavas anegables. Con la intensa presión que la agricultura y la ganadería han ejercido sobre la vegetación nativa, se han producido grandes cambios en la cobertura del suelo, así como en la estructura y la composición de los remanentes de pastizales.

### 2.1. Los suelos de la Pampa Ondulada

La Pampa Ondulada constituye la región de mayor actividad agrícola de la Región Pampeana y comprende el norte de la provincia de Buenos Aires y el sur de Santa Fe.

El relieve es ondulado y está drenado por arroyos y cursos de agua bien definidos. Las pendientes en general no alcanzan al 2% aunque hay sectores que llegan hasta el 5%. Estos gradientes y la longitud de esas pendientes producen en esta región una general susceptibilidad a la erosión hídrica; en algunos casos, esta es severa.

Predominan los Argiudoles típicos. Son suelos profundos, bien drenados, neutros, bien desarrollados, con secuencias de horizontes (“A”, “B”, “C”) bien diferenciados. El horizonte superior si no está erosionado, alcanza unos 25 cm de espesor, tiene textura franco limosa y estructura granular; está bien provisto de materia orgánica (entre 2 y 4%) y tiene alta capacidad de intercambio catiónico.

Las particulares características físicas de los limos de origen biológico, con alto contenido de biolitos y vidrios volcánicos, que poseen muchos Argiudoles pampeanos,

confieren al horizonte superficial de estos suelos rasgos de fragilidad estructural, tales como baja densidad aparente, alta porosidad textural y débil resistencia mecánica, y, con ello, una alta susceptibilidad a la degradación (Pecorari *et al.* 1990).

Pecorari *et al.* (1990) fueron los primeros en investigar la influencia que los fitolitos tienen sobre las propiedades físicas de los suelos pampeanos. Los fitolitos son cuerpos mineralizados o silicificados integrantes de los tejidos orgánicos de origen vegetal y junto con otros biolitos y vidrios volcánicos, con los que coinciden en tamaño, dominan la fracción mineral de menor densidad del suelo y están presentes ampliamente en la región pampeana (Morrás 1995). Según Pecorari *et al.* (1990), el porcentaje de fitolitos en la fracción de limo fino del suelo oscila entre un 17,9 y un 41,2%, lo que representa entre un 7,9 y un 16,7 % sobre el total del suelo. Estos valores son altos con respecto a los que presentan otros suelos franco limosos de pradera (Cosentino *et al.* 2002). La elevada cantidad de minerales de ascendencia biótica y vidrios volcánicos unido al hecho de que la arcilla es preponderantemente illítica tiene un efecto genético negativo sobre su resistencia mecánica a la ruptura y por consiguiente sobre su estabilidad estructural (Cosentino *et al.* 2002).

El horizonte “B” es algo más espeso que el de los Argiudoles del sur; tiene alrededor de 60 cm pero alcanza los 80 cm en algunas series; tiene textura franco arcillo limosa y está estructurado en prismas fuertes. En la mayoría de las series de suelo de esta región el horizonte B adquiere las características de horizonte *textural* con alta presencia de arcillas de iluviación. Este horizonte en ocasiones esta característica es muy acusada y permite una muy pobre penetración y colonización del sistema radicular. Las raíces de los cultivos extraen bajas cantidades de agua más allá de este horizonte.

El material originario no edafizado aparece a más de 1,5 m de profundidad. Acorde con el crecimiento del tamaño de partículas, los suelos son más livianos en el sudoeste



con horizonte “B” de menor espesor. Hacia el este, la proporción de partículas finas se incrementa de tal forma, que en el extremo noreste predominan los Argiudoles vérticos (transicionales al Orden de los Vertisoles).

En las cañadas que recortan las lomadas y en algunas cubetas aparecen suelos lavados, algo hidromórficos y algunos sódicos desde los horizontes subsuperficiales (Argialboles típicos y Natracuales típicos, respectivamente).

Las limitaciones más importantes de los suelos de la Pampa Ondulada radica en la susceptibilidad a la erosión hídrica, producida por el grado y longitud de las pendientes, la relativamente baja permeabilidad ya mencionada del horizonte “B” y los suelos alcalinos propios de cañadas y sectores adyacentes a depresiones.

El uso agrícola intensivo de toda esta subregión y la textura predominantemente limosa del horizonte superficial suele producir encostramiento o “planchado” y densificación en la parte superior del perfil que limitan la productividad y favorecen el escurrimiento erosivo del agua.

Por otra parte, la agricultura, practicada sin criterios conservacionistas, provoca un deterioro químico, puesto que la extracción de bases ocasiona una paulatina acidificación de los suelos.

La aptitud de la Pampa Ondulada es eminentemente agrícola. Las áreas agrícola ganaderas y ganadero agrícolas son las adyacencias a las vías de escurrimiento o sectores cóncavos anegables, hidromórficos o sódicos cuya extensión es muy reducida. El factor clima (muy favorable) permite efectuar doble cultivo en gran parte de la región.

## 2.2. Los suelos de la Pampa Arenosa

Tradicionalmente se ha denominado Pampa Arenosa a un amplio sector que abarca el noroeste de la provincia de Buenos Aires y continúa en el noreste de la Pampa, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba.

Los sedimentos modernos, que alcanzan unos diez metros de espesor son arenas finas, cuya granulometría decrece de oeste a este. El paisaje es más ondulado en el oeste, donde se observan antiguas formaciones medanosas, actualmente estabilizadas por la vegetación y orientadas, de acuerdo con la dirección de los vientos que le dieron origen, de sudoeste a noreste (es frecuente hallar médanos vivos). Hacia el este las ondulaciones se atenúan y el paisaje es, en general, más estable.

La condición topográfica ha producido una red de drenaje poco definida y existen grandes cuencas arreicas caracterizadas por la presencia de lagunas permanentes, con amplias zonas de influencia afectadas por salinización.

Los suelos de las partes altas muestran poca diferenciación de horizontes, son profundos, neutros, débilmente estructurados y susceptibles a la erosión eólica (Hapludoles énticos, Hapludoles típicos).

La superficie muestra ondulaciones medanosas y horizontes superficiales, “A”, poco estructurados, susceptibles a ser removidos por el viento mientras que los horizontes sub superficiales están escasamente diferenciados.

Los Hapludoles típicos de la zona representados en algunas series de suelo como la serie Lincoln en sus distintas fases, son profundos, con muy buen drenaje, sin limitaciones para la profundización de las raíces hasta más allá de los 2 mts. Poseen muy buenos contenidos de materia orgánica en superficie donde ha habido un manejo conservacionista. Estos suelos son extremadamente productivos y hacen de la zona una

de las regiones con mejores rendimientos agrícolas de la Argentina en especial en lo que se refiere al cultivo de maíz y al doble cultivo trigo soja.

En algunas planicies y bajos no anegables se encuentran los Hapludoles taptó árgicos, suelos desarrollados sobre dos materiales eólicos superpuestos en capas sucesivas. En la camada inferior como consecuencia de un período de edafización más antigua caracterizada por una mayor pluviosidad, se desarrolló un horizonte “B” rico en arcilla y con estructura prismática fuerte. Este horizonte quedó finalmente en la parte superior del suelo como consecuencia de una etapa erosiva que removió el “A”. En la camada superior más moderna y de una profundidad variable se desarrolló solamente un horizonte “A”. Estos perfiles tienen marcada discontinuidad en la permeabilidad a lo largo del contacto entre las referidas capas. Debido a ello es que en ciertos períodos se produce la permanencia de una falsa capa freática en los primeros centímetros, la cual suele originar cementaciones que impiden una libre percolación y una penetración radicular profunda. En sectores algo más deprimidos, el horizonte “B” contiene tenores de sodio que superan el 15% del complejo de intercambio (Hapludoles taptó nátricos). En los bajos marcados, que van ganando superficie en importancia hacia el este de la región se identifican complejos de suelos afectados por hidromorfismo y sodicidad sub superficial (Hapludoles taptó nátricos y Natracuoles típicos).

Las limitaciones de los suelos de la región son la excesiva permeabilidad, susceptibilidad a la erosión eólica y relativamente baja provisión de materia orgánica de los Hapludoles énticos predominantes en el oeste y en la parte alta de las formaciones medanosas en general y, por otra parte, la deficiencia de drenaje y presencia de alcalinidad y salinidad en áreas deprimidas marcadas.

Las condiciones más favorables para la agricultura están dadas en las lomadas o en los llanos altos pero también en áreas más deprimidas que suelen tener influencia positiva de las napas freáticas.

### 3 Uso de la tierra

#### 3.1. Uso de la tierra en los suelos de la Pampa Ondulada

Los departamentos del sur de Santa Fe: Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo, General López y Belgrano forman parte de la región con más intensidad de agricultura de nuestro país.

En esta región predomina el cultivo de soja. La Tabla 3 muestra el promedio de la superficie sembrada, la superficie cosechada, la producción total en toneladas y el rendimiento por ha de los principales cultivos (soja, maíz, sorgo y trigo) en los departamentos arriba mencionados. No incluye los datos de General López ya que las condiciones edafológicas preponderantes de sus suelos son diferentes a las de los otros departamentos nombrados.

Tabla 3: Valores promedio de superficie sembrada (ha), superficie cosechada (ha), producción (Mg) y rendimientos de maíz, sorgo, trigo, cebada cervecera y soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo y Belgrano para 8 campañas agrícolas (2005/13).

Sur de Santa Fe: datos de 6 departamentos. Promedios 2005/2013				
Cultivo	Sup sembrada	Sup cosechada	Producción	Rendimiento $\text{kg ha}^{-1}$
Soja 1ra y 2da	1183163	1181607	3873923	3279
Maíz	129161	122657	1060285	8644
Sorgo	19450	19322	132193	6842
Trigo	138912	136129	468477	3441
Cebada cervecera	6731	6792	16307	2401

Fuente: MAGYP, 2014.

En la Figura 2 se ve en forma gráfica la evolución de la superficie de cada cultivo para las últimas 8 campañas en 6 departamentos del sur de Santa Fe.

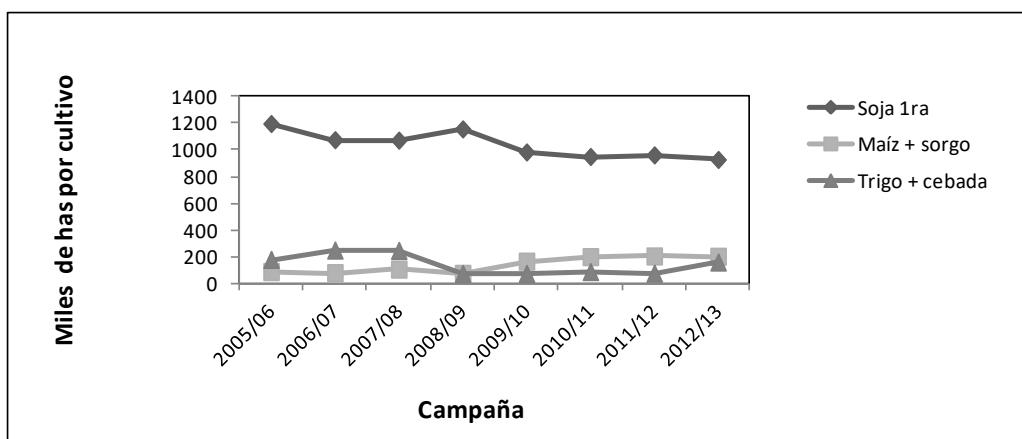


Figura 2: Superficie cosechada según cultivo para 8 campañas agrícolas en los departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo y Belgrano. Fuente: MAGYP, 2014.

En la Tabla 4 se observa la superficie promedio de cultivos gramíneas de invierno y verano y soja de 1ra y % sobre el total para las últimas 8 campañas agrícolas en los departamentos seleccionados del sur de Santa Fe.

Tabla 4: Superficie promedio de cultivos gramíneas de invierno y verano y soja de 1ra y % sobre el total para las últimas 8 campañas agrícolas en los departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo y Belgrano.

Sur de Sta Fe: datos de 6 deptos superficie promedio cosechada (has)		
Cultivos	Sup en has	%
Trigo+ cebada	145070	11%
Maíz + Sorgo	141979	11%
Soja 1ra	1036537	78%
Total	1323585	100%

Fuente: Propia en base a datos del MAGYP, 2014.

Puede observarse que en promedio apenas un 22 % de la superficie de la zona tiene una rotación adecuada que incluye gramíneas de verano como maíz y sorgo y trigo o cebada como cultivos de invierno.

En la Tabla 5 y en la Figura 3 se observa la relación entre cultivos de soja de 1ra y 2da y gramíneas de verano como maíz y sorgo:

Tabla 5: Relación de superficie sembrada y superficie cosechada entre soja y gramíneas de verano para 8 campañas agrícolas en los departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo y Belgrano.

Sur de Sta Fe: datos de 6 deptos: Relación soja : maíz + sorgo		
Campaña	soja 1ra : maíz + sorgo	soja 1ra + soja 2da : maíz + sorgo
2005/06	13,7	15,8
2006/07	13,6	16,7
2007/08	10,1	12,4
2008/09	15,6	16,6
2009/10	5,9	6,4
2010/11	4,8	5,2
2011/12	4,7	5,1
2012/13	4,6	5,4
Promedio	9,1	10,4

Fuente: propia en base a datos del MAGYP, 2014.

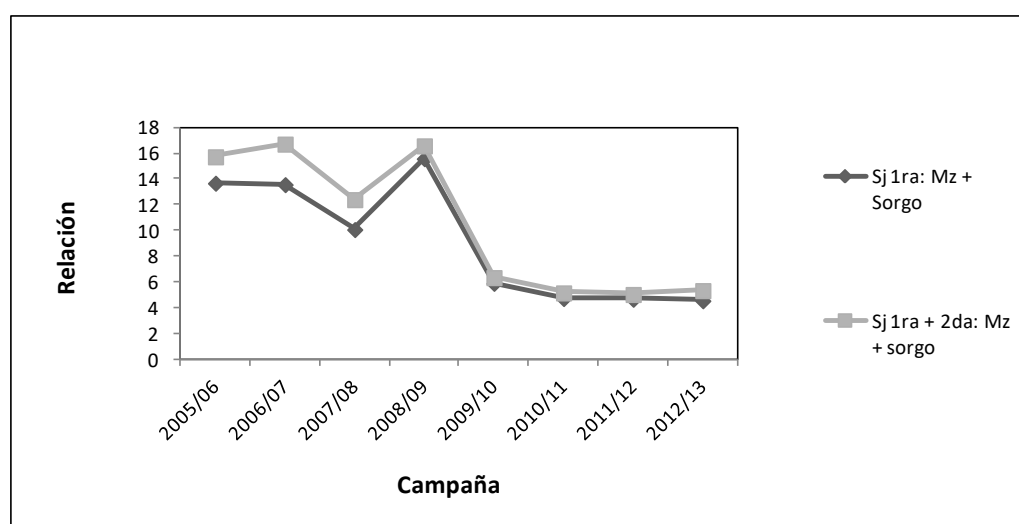


Figura 3: Relación de superficie cosechada entre leguminosas de verano y gramíneas de verano para 8 campañas agrícolas en los departamentos de Constitución, Iriondo, Caseros, Rosario, San Lorenzo y Belgrano. Fuente: Propia en base a datos del MAGYP, 2014

Todo lo descripto hasta aquí implica una menor cobertura de los suelos y desde el punto de vista hídrico una mayor temperatura del mismo y una mayor evaporación directa desde el suelo, es decir una menor eficiencia de almacenaje y del uso del agua.

En promedio la relación soja de 1ra: maíz o sorgo es de 9,1: 1 lo cual implica que el aporte anual de residuos de cosecha es muy inferior a lo conveniente para mantener el balance en el contenido de materia orgánica. (Álvarez, 2006 y Cordone *et al.*, 2005). A partir de la campaña 2009/10 se empieza a ver una mejora y la relación pasa a ser de 5 a 1 en promedio y de 5,5:1 si se considera toda la superficie de soja tanto de 1ra como 2da.

### 3.2. Uso de la tierra en los suelos de la Pampa Arenosa

En el noroeste de Buenos Aires la agricultura es la actividad principal. Al igual que en el sur de Santa Fe predomina el cultivo de soja pero la proporción soja: cultivos gramíneas de verano no es tan marcada a favor de la oleaginosa y la relación promedio soja 1ra: maíz ó sorgo para las últimas 8 campañas es de 3,2 a 1. (Tabla 6 y Figura 4).

Tabla 6: Superficie sembrada (ha), superficie cosechada (ha), producción en toneladas y rendimiento de maíz, sorgo, trigo, cebada cervecera y soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas, (7 partidos del noroeste de Buenos Aires).

Noroeste de Buenos Aires: datos de 7 partidos - Promedios 2005/2013				
Cultivo	Sup sembrada	Sup cosechada	Producción	Rendimiento $\text{kg ha}^{-1}$
Soja 1ra y 2da	847778	827062	2345532	2836
Maíz	227981	201343	1537781	7638
Sorgo	4942	4117	23336	5668
Trigo	160208	159186	607147	3764
Cebada cervecera	27067	26764	102722	3838

Fuente: MAGYP, 2014.

La Figura 4 muestra la evolución de los cultivos en los últimos años. Se incluye una estimación de la superficie de soja de 1ra como único cultivo en el año, estimación que se hizo restando al dato del MAGYP de superficie de soja la proveniente de trigo y cebada.

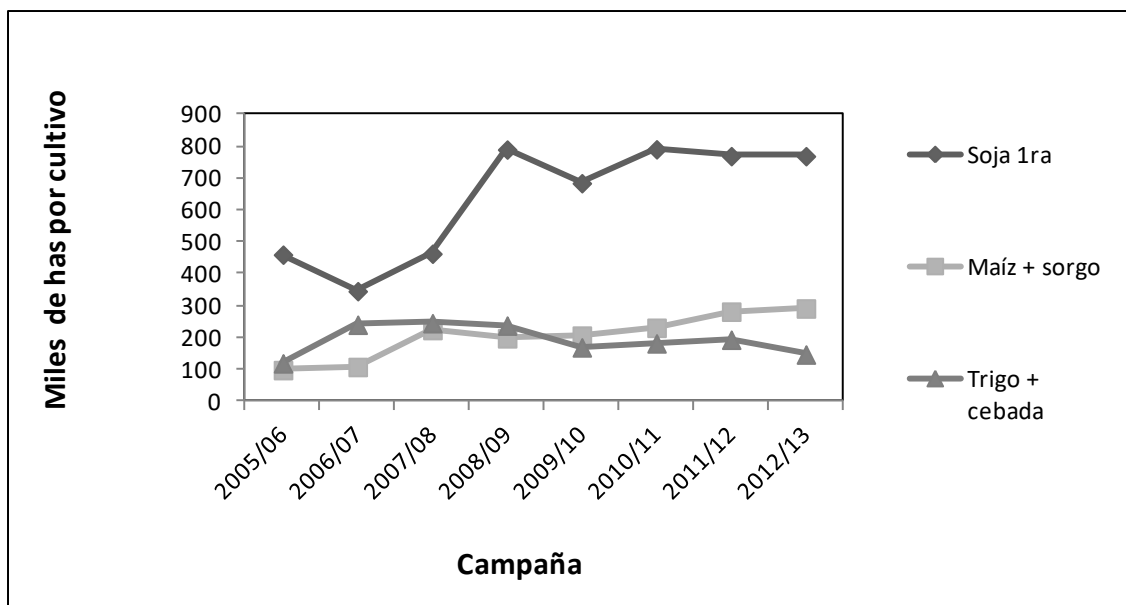


Figura 4: Superficie cosechada según cultivos para 8 campañas agrícolas en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas. Fuente: propia en base a datos del MAGYP, 2014.

En la Tabla 7 se ha agrupado la superficie de cultivos gramíneas de invierno (trigo y cebada) y de verano (sorgo y maíz). Se indica también el % sobre el total para las últimas 8 campañas agrícolas (2005/06 a 2012/13) en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas. La superficie de soja de 1ra se ha estimado restando a los datos de superficie total las hectáreas de trigo y cebada cervecera para cada campaña.

Tabla 7: Superficie con cultivos gramíneas de invierno y de verano y de soja de 1ra y % sobre el total para las últimas 8 campañas agrícolas en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas.

Noroeste de Buenos Aires 7 partidos superficie promedio cosechada (ha)		
Cultivos	Superficie	%
Trigo+ cebada	192573	19%
Maíz + Sorgo	205460	20%
Soja 1ra	634489	61%
Total	1032522	100%

Fuente: MAGYP, 2014.

Puede observarse que en promedio un 39 % de la superficie de la zona tiene una rotación adecuada que incluye gramíneas de verano como maíz y sorgo y trigo o cebada como cultivo de invierno.



En la Tabla 8 y en la Figura 5 se observa la relación entre cultivos gramíneas y cultivos de soja de 1ra y de 2da.

Tabla 8: Relación de superficie sembrada y superficie cosechada entre soja y gramíneas de verano para 8 campañas agrícolas en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas.

Noroeste de Buenos Aires: 7 partidos: Relación soja : maíz + sorgo		
Campaña	soja 1ra : maíz + sorgo	soja 1ra + soja 2da : maíz + sorgo
2005/06	4,7	5,9
2006/07	3,2	5,4
2007/08	2,1	3,2
2008/09	4,0	5,2
2009/10	3,3	4,1
2010/11	3,4	4,2
2011/12	2,7	3,4
2012/13	2,6	3,1
Promedio	3,2	4,3

Fuente: propia en base a datos del MAGYP, 2014.

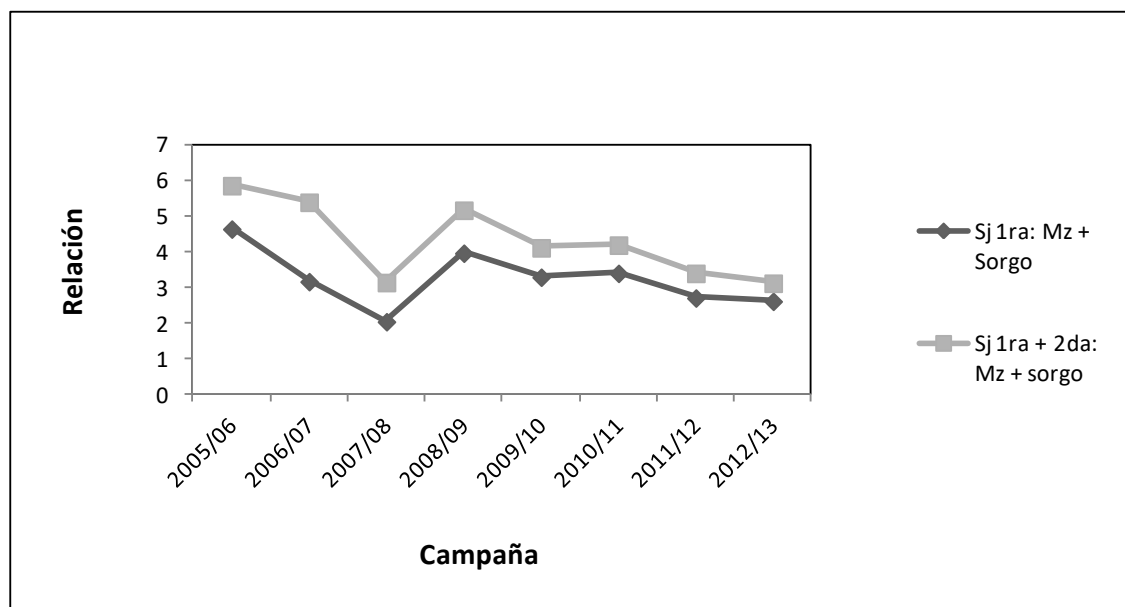


Figura 5: Relación de superficie cosechada entre soja de 1ra y soja de 2da y gramíneas de verano para 8 campañas agrícolas en los partidos de Junín, Lincoln, Leandro N. Alem, General Viamonte, General Pinto, Florentino Ameghino, General Villegas. Fuente: propia en base a datos del MAGYP, 2014.

Como puede verse esta zona geográfica se encuentra en mejores condiciones por la rotación de los cultivos que la Pampa Ondulada pero dista aún de una situación ideal.

En promedio la relación soja de 1ra: maíz o sorgo es de 3,2: 1 lo cual implica que el aporte anual de residuos de cosecha es muy inferior a lo conveniente para mantener el

balance de ganancias y pérdidas del contenido de materia orgánica. (Álvarez, 2006) y las consecuencias que eso trae en lo que se refiere al almacenaje y conservación y uso del agua del suelo.

## ANEXO 2

## Esquema de ensayos - Fotografías

## ESQUEMA DE IMPLEMENTACION DE ENSAYO

Proyecto diagnóstico de fertilidad en maíz									
Ensayos de fertilización en maíz - Campaña 2009/10									
<a href="#">volver al resumen</a>									
Localidad	Santa Teresa								
Establecimiento	La Ernestina								
Responsables del ensayo	Canova, Bosco, Ferrari								
Lote	4 cremería								
Cultivo antecesor	Trigo/Soja								
Años de Agricultura	27								
Serie de suelo	Peyrano								
Cap. de uso y limitantes	I 1/2								
Profundidad de la napa	-								
Fecha Barbecho Químico									
Producto y dosis BQ									
Producto y dosis Preemerg									
Fecha siembra									
Sembradora									
Distancia entre hileras	52,5	cm							
Densidad de siembra	80.000	sem/ha							
Densidad cultivo	76.605	pl/ha							
Híbrido									
Insecticida curasemillas	Precurada								
Fungicida curasemillas	Precurada								
Tamaño parcela	8	surcos X 10 metros							
Fecha fertilización	23-oct								
Estado cultivo	V2								
Fertilización P (ej.)	100	Kg./Ha PMA. % N =	11						
				Aplicación UREA					
Tratamientos	Ntotal	N Lote	N fert siembra	N faltante	(kg/ha)	gr/parcela	gr/2surcos		
1-Testigo - kg N	96,5	85,5	11	0	0	0,0	0,0	Surcos	8
2 - kg N	125	85,5	11	28,5	62,0	260,2	65,1	Dist surcos	0,525 m
3 - kg N	150	85,5	11	53,5	116,3	488,5	122,1	Largo	10 m
4 - kg N	175	85,5	11	78,5	170,7	716,7	179,2	m²/parcela	42,0 m²
5 - kg N	200	85,5	11	103,5	225,0	945,0	236,3		
6 - kg N	225	85,5	11	128,5	279,3	1173,3	293,3		
14,3 Kg de urea ensayo									

### Ubicación del ensayo

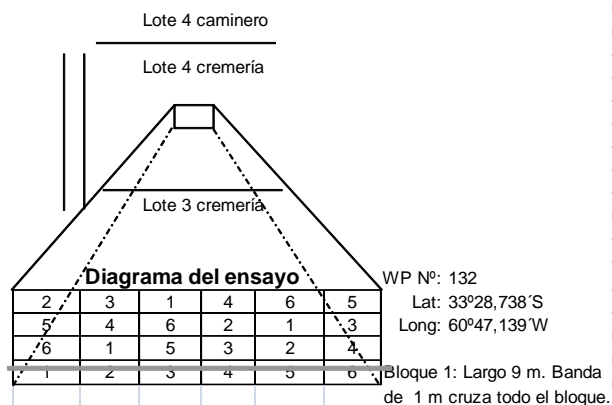
### Diagrama del ensayo

2	3	1	4	6	5
5	4	6	2	1	3
6	1	5	3	2	4
1	2	3	4	5	6

WP N°: 132  
Lat: 33°28,738'S  
Long: 60°47,139'W

Bloque 1: Largo 9 m. Banda de 1 m cruza todo el bloque.

## Ubicación del ensayo



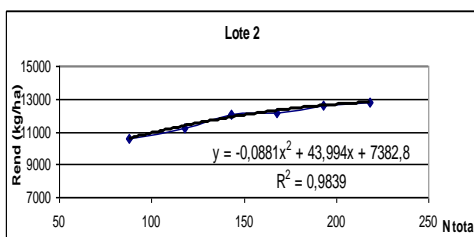
## PLANILLA DE COSECHA DE ENSAYOS

Ensayos de fertilización en cultivo de maíz								
Ensayo	Campo	La Armonía						
	Lote	3						
	Fecha de cosecha	18-03-10						
	Fecha de trilla	06-abr						
Tara bolsa (g) 85								
Tratamiento	Rep	Peso bruto (g)	Peso grano (g)	Hº	Peso seco (g)	Tamaño parcela (m²)	Rend seco (kg/ha)	Observaciones
1	1	10825	10740	22,8%	9.587	10,5	9130	
1	2	9300	9215	22,7%	8.236	10,5	7844	
1	3	11575	11490	20,7%	10.535	10,5	10033	
1	4	11875	11790	24,3%	10.320	10,5	9828	MR
2	1	11675	11590	20,9%	10.600	10,5	10095	
2	2	13250	13165	22,0%	11.873	10,5	11308	
2	3	13125	13040	25,0%	11.309	10,5	10770	
2	4	12250	12165	21,9%	10.985	10,5	10462	
3	1	14400	14315	22,9%	12.761	10,5	12154	
3	2	13700	13615	24,1%	11.949	10,5	11380	
3	3	13250	13165	24,0%	11.569	10,5	11018	
3	4	14000	13915	21,8%	12.581	10,5	11982	
4	1	14950	14865	20,8%	13.612	10,5	12964	
4	2	14625	14540	23,0%	12.945	10,5	12329	
4	3	14175	14090	21,7%	12.756	10,5	12148	
4	4	13100	13015	20,4%	11.978	10,5	11408	
5	1	14225	14140	22,6%	12.654	10,5	12052	
5	2	14750	14665	20,5%	13.480	10,5	12838	MR
5	3	16000	15915	23,8%	14.022	10,5	13355	MR
5	4	13925	13840	20,8%	12.673	10,5	12070	
6	1	14100	14015	20,0%	12.963	10,5	12346	
6	2	15600	15515	22,0%	13.992	10,5	13326	
6	3	15200	15115	21,9%	13.649	10,5	12999	
6	4	14350	14265	22,2%	12.832	10,5	12221	
289.861								
Tratamiento		Rinde seco						
1		9209						
2		10659						
3		11633						
4		12212						
5		12578						
6		12723						
MR : bolsa mordida por ratones o con algún agujero pequeño, bajas probabilidades de pérdidas. MR+ : bolsa mordida por ratones con agujeros de mayor tamaño, mayor probabilidad de pérdidas.								
<b>Análisis de la varianza</b>								
Variable	N	R²	R² Aj	CV				
Rend seco	124	0,83	0,75	6,08				
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)								
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor			
Modelo	4E+07	8	4630937,92	9,45	0,0001			
Tratamiento	4E+07	5	7313634,8	14,93	<0,0001			
Rep	5E+05	3	159776,44	0,33	0,8065			
Error	7E+06	15	489857,64					
Total	4E+07	23						
<b>Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1608,01637</b>								
Error: 489857,6444 gl: 15								
Tratamiento	Media		n					
6	12723	4	A					
5	12579	4	A					
4	12212	4	A	B				
3	11634	4	A	B				
2	10659	4		B	C			
1	9209	4			C			
Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)								

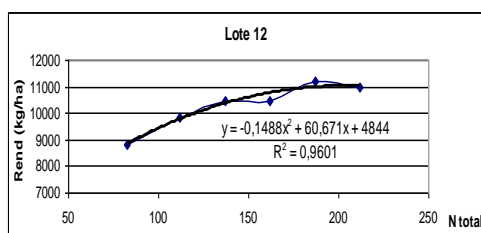
## REGISTRO TIPO DE LOS ENSAYOS

## Ensayos Sur de Sta Fe 2009 10

### Los Hermanos - Sojar



249,7 Nmax agron  
 175,9 N econ  
 12875,1 Ymax agron  
 12395,5 Y econ  
 10569,2 Ymin agron  
 2305,9 Respuesta máxima  
 1826,3 Rta al max econ  
 14,3 EUN al Max agron  
 31,5 EUN al max econ

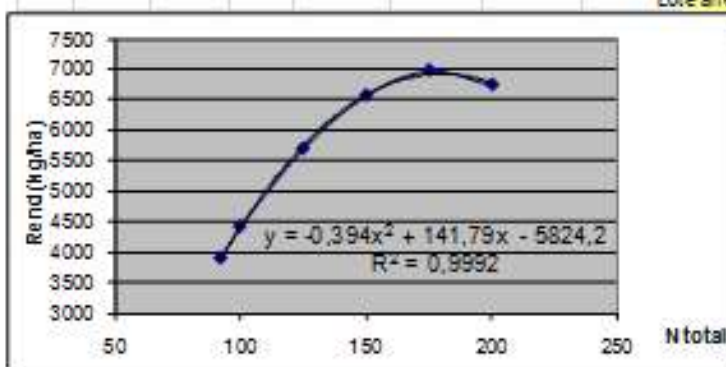


203,9 Nmax agron  
 160,2 N econ  
 11028,4 Ymax agron  
 10744,5 Y econ  
 8833,0 Ymin agron  
 2195,5 Respuesta máxima  
 1911,5 Rta al max econ  
 18,1 EUN al Max agron  
 39,7 EUN al max econ



## Lote anegado en argiudol de Santa Teresa (Sta Fe)

Cam: La Ernestina																	
Lote 6-7 Casco										Sobre testigo		Marginal		Tukey			
Sam	le	N sue	b	fert	s	lemin	N POE	N total	N tot+N an	Rinde	N abs. Kg/ha	N min	Rta	EUN	Rta	EUN	p <= 0,05
1		81,3		11,0		0	92,3	92,3	3914	86	-6	0	-	-	-	-	A
2		81,3		11,0		7,7	100,0	100,0	4428	97		514	66,8	514	66,8	50,9	A
3		81,3		11,0		32,7	125,0	125,0	5700	125		1787	54,6	1272	50,9	50,9	A
4		81,3		11,0		57,7	150,0	150,0	6569	145		2655	46,0	869	34,8	34,8	B
5		81,3		11,0		82,7	175,0	175,0	6980	154		3066	37,1	411	16,4	16,4	B
6		81,3		11,0		107,7	200,0	200,0	6745	148		2831	26,3	-235	-9,4	-9,4	B
										Lote anegado						DMS	1982,89
																CV	15,00%



### MUESTREO PREVIO A LA IMPLANTACION

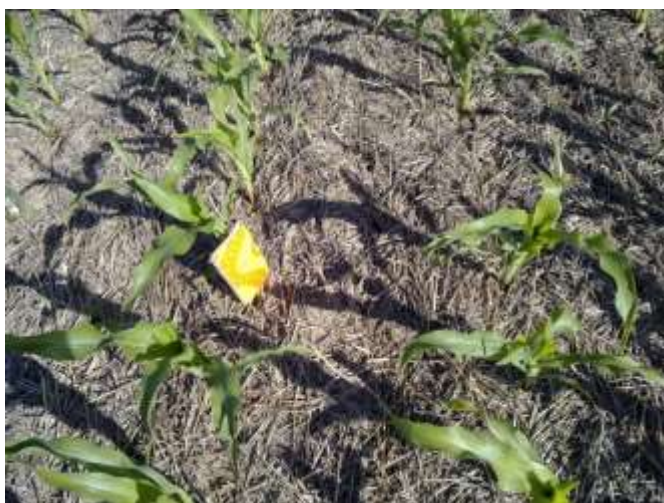


## MARCADO Y FERTILIZACION





## SEGUIMIENTO DE LOS ENSAYOS





## RELEVAMIENTO PREVIO A LA TRILLA Y TRILLA ESTACIONARIA



Trilla estacionaria

## ANEXO 3

## Análisis estadístico agua útil a la siembra y lluvias

Se implementó el modelo [1] para verificar la relación entre el rendimiento de maíz y la disponibilidad de agua útil a la siembra + precipitaciones (AUS+pp) para los tratamientos fertilizado y sin fertilizar. Los parámetros del modelo para cada tratamiento se presentan en la Tabla 1.

$$R = \alpha + (\beta_1 * AUS+pp) * (AUS+pp < \gamma) + (\beta_1 * \gamma) * (AUS+pp \geq \gamma) \quad [1]$$

Tabla 1: Parámetros del modelo “dos tramos”

Sin fertilizar			Fertilizado		
Parámetros	Estimación	p-valor	Parámetros	Estimación	p-valor
A	-9853,91	0,12	A	-6041,01	0,1841
$\beta_1$	32,13	0,0094	$\beta_1$	30,06	0,0015
$\gamma$	663,24	<0,0001	$\gamma$	676,56	<0,0001

A partir del parámetro  $\gamma$ , que indica el valor umbral de disponibilidad de agua por encima del cual la relación con el rendimiento cambia, se confeccionaron las rectas de regresión lineal (“tramos”) correspondientes (Figuras 1a y 1b). Entonces las ecuaciones para cada tramo fueron:

$$\text{Tramo 1 R sin fertilizar} = -9853,91 + 32,13 * AUS+pp \text{ cuando } AUS+pp < 663,24 \quad [2]$$

$$\text{Tramo 2 R sin fertilizar} = 11455,99 \text{ cuando } AUS+pp > 663,24 \quad [3]$$

$$\text{Tramo 1 R fertilizado} = -6041,01 + 30,06 * AUS+pp \text{ cuando } AUS+pp < 676,56 \quad [4]$$

$$\text{Tramo 2 R fertilizado} = 14296,38 \text{ cuando } AUS+pp > 676,56 \quad [5]$$

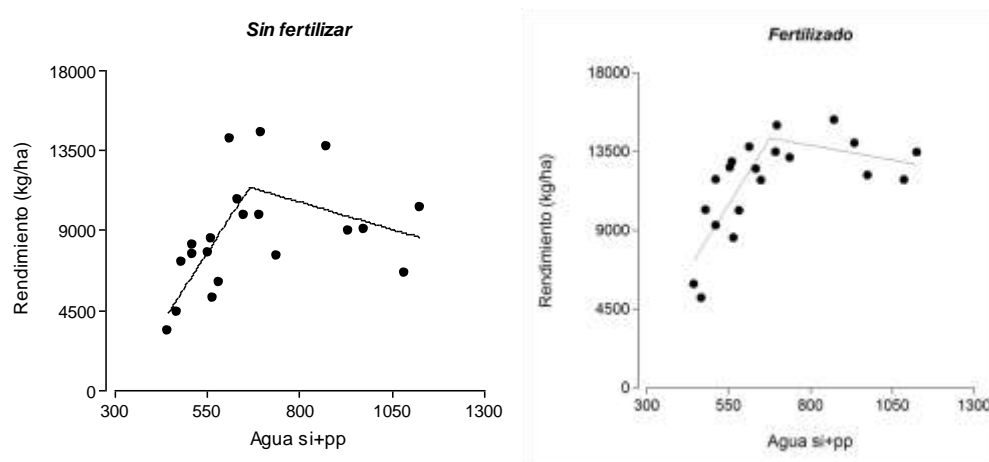


Figura 1: Rendimiento de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en función del contenido de agua inicial del suelo más las precipitaciones octubre a enero. Figura 1a (izquierda) sin fertilizar y Figura 1b (derecha) fertilizado.

A partir de esta información se verificó la linealidad de cada tramo y se realizó un análisis de comparación de rectas de los tramos 1 que se presenta a continuación discriminando los sitios con y sin N adicional.

### Tratamiento testigo sin N adicional (SN)

Se realizó una regresión lineal con cada tramo para verificar el valor p previa verificación de homocedasticidad de los datos. Ordenando la tabla por humedad ascendente las rectas individuales están dadas por el valor de corte de 663,24 mm [2]. El resultado fue:

#### TRAMO 1

SN1	Variable N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
1	SN 12	0,52	0,47	6357986,82	221,86	223,31

#### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-9853,91	5363,09	-21803,61	2095,79	-1,84	0,0960	
AUS	32,13	9,73	10,45	53,80	3,30	0,0080	11,00

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49714178,10	1	49714178,10	10,90	0,0080
AUS	49714178,10	1	49714178,10	10,90	0,0080
Error	45595376,15	10	4559537,62		
Total	95309554,25	11			

Se verificó una relación lineal y positiva entre el rendimiento y la disponibilidad de agua hasta un valor umbral de 663,24 mm ( $R^2$ : 0,47;  $y = 32,1x - 9853,9$ ;  $p = 0,0080$ ) (Figura 1a).

A continuación se analizan los datos por encima de ese valor umbral:

## TRAMO 2

SN1	Variable	N	$R^2$	$R^2$ Aj	ECMP	AIC	BIC
2	SN	8	0,14	5,8E-04	13869641,62	153,17	153,40

### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	15534,62	5553,30	1946,19	29123,06	2,80	0,0313	
AUS	-6,15	6,14	-21,18	8,87	-1,00	0,3550	2,00

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7644759,58	1	7644759,58	1,00	0,3550
AUS	7644759,58	1	7644759,58	1,00	0,3550
Error	45683478,29	6	7613913,05		
Total	53328237,88	7			

Por encima de este valor umbral de 663,24 mm la relación entre ambas variables resultó no significativa ( $p$ : 0,3550) sugiriendo que aparentemente el rendimiento no variaría en niveles superiores de disponibilidad de agua en el suelo habiendo alcanzado un plateau.

## Tratamiento fertilizado con N adicional

Se repitió el mismo procedimiento para el tratamiento con fertilizante adicional verificando la respuesta por tramos con un valor umbral de 676,56 mm [4].

## TRAMO 1:

### Análisis de regresión lineal

Con N	Variable N	N	$R^2$	$R^2$ Aj	ECMP	AIC	BIC
1	Con N	12	0,52	0,47	5731843,81	220,32	221,77

### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-6041,01	5029,16	-17246,67	5164,66	-1,20	0,2574	
AUS+p	30,06	9,12	9,73	50,39	3,29	0,0081	10,96

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	43518028,61	1	43518028,61	10,85	0,0081
AUS+p	43518028,61	1	43518028,61	10,85	0,0081
Error	40094226,30	10	4009422,63		
Total	83612254,92	11			

Se verificó una respuesta lineal (p: 0,0081).

## TRAMO 2:

ConN1	Variable N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
2	PN	8	0,23	0,10	2224486,63	139,16 139,40

### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
const	16583,38	2314,15	10920,87	22245,89	7,17	0,0004	
AUS	-3,38	2,56	-9,64	2,88	-1,32	0,2343	2,64

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2310593,94	1	2310593,94	1,75	0,2343
AUS	2310593,94	1	2310593,94	1,75	0,2343
Error	7933023,56	6	1322170,59		
Total	10243617,50	7			

En el tramo 2 se verifica el plateau (p: 0,2343)

## Análisis de comparación de rectas de los tramos lineales 1

A continuación se hizo un análisis de comparación entre rectas de los rendimientos sin y con fertilizante nitrogenado adicional. Se presenta la tabla de ANOVA:

### Análisis de regresión lineal

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento	30	0,59	0,54	6979198,22	553,19	560,19

### Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-3212,06	3885,81	-11199,46	4775,34	-0,83	0,4160		
Aguasiypp	24,70	6,63	11,08	38,32	3,73	0,0009	16,42	2,00
Rectas_1,00	-1645,60	5495,37	-12941,49	9650,29	-0,30	0,7670	3,12	45,91
Rectas_1,00_Aguasiypp	-1,99	9,37	-21,25	17,27	-0,21	<b>0,8334</b>	3,08	46,91

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	185287729,25	3	61762576,42	12,52	<0,0001
Aguasiypp	68542312,28	1	68542312,28	13,89	0,0009
Rectas_1,00	442348,71	1	442348,71	0,09	0,7670
Rectas_1,00_Aguasiypp	222582,99	1	222582,99	0,05	0,8334
Error	128257438,22	26	4932978,39		
Total	313545167,47	29			

No se comprobaron diferencias en las pendientes de los tramos lineales del modelo lineal-plateau ( $p: 0,8334$ ) ni en las ordenadas al origen ( $p: 0,7670$ ). Por esta razón podrían exponerse todos los datos con un modelo polinómico como se observa en la figura 8 del punto 4.2.

## ANEXO 4

## Tablas de correlaciones y significancia del análisis de componentes principales

## Análisis de componentes principales

## Datos estandarizados suelos Argiudoles

Casos leídos 11

Casos omitidos 0

## Variables de clasificación

Matriz de correlación/Coeficientes																
	Densidad	Ar	Li	A	D Ap prom	AU Si	PP Dic	PP Oct En	Ausi+pp	P (ppm)	MOT	%MOT	MO /arc+H	MO joven	Nan	N
Densidad (pl/ha)	1															
Ar	-3,40E-03	1														
Li	-0,6	0,14	1													
A	0,41	-0,73	-0,78	1												
D Ap prom	-0,12	0,54	-0,01	-0,33	1											
AU Si	-0,76	0,08	0,51	-0,4	0,25	1										
PP Dic	0,69	-0,03	-0,75	0,53	-0,14	-0,51	1									
PP Oct En	0,53	0,03	-0,63	0,41	-0,03	-0,22	0,94	1								
Ausi+pp	0,41	0,05	-0,55	0,35	0,02	-0,04	0,87	0,98	1							
P (ppm)	0,82	0,15	-0,54	0,27	-0,13	-0,82	0,55	0,35	0,21	1						
MOT	0,08	-0,12	0,29	-0,13	0,09	0,2	-0,04	0,11	0,15	-0,21	1					
%MOT	0,13	-0,24	0,28	-0,05	-0,14	0,11	3,80E-03	0,12	0,15	-0,14	0,97	1				
MO /arc+Himo	0,26	-0,46	0,02	0,28	-0,23	-3,20E-03	0,18	0,26	0,27	-0,04	0,89	0,94	1			
MO joven	0,19	-0,26	-0,12	0,25	0,02	0,1	0,12	0,23	0,25	-0,15	0,86	0,84	0,88	1		
Nan	0,33	-0,44	-0,31	0,5	-0,01	0,05	0,2	0,29	0,3	0,12	0,63	0,63	0,78	0,77	1	
N (suelo)	-0,06	0,4	0,66	-0,71	0,18	0,09	-0,51	-0,55	-0,55	-0,09	0,3	0,25	0,02	-0,04	-0,17	
Testigo sin N	0,47	-0,29	-0,05	0,21	-0,3	-0,25	0,34	0,36	0,33	0,28	0,8	0,87	0,91	0,73	0,72	
Con N	0,71	-0,26	-0,36	0,41	-0,24	-0,45	0,62	0,62	0,55	0,46	0,64	0,71	0,81	0,68	0,65	
RESPUESTA	0,8	-0,15	-0,64	0,53	-0,1	-0,58	0,81	0,76	0,67	0,56	0,26	0,3	0,46	0,43	0,38	

Matriz de correlación/Probabilidades																	
	Densidad	Ar	Li	A	D Ap prom	AU Si	PP Dic	PP Oct En	Ausi+pp	P (ppm)	MOT	%MOT	MO /arc+limo	MO joven	Nan	N (suelo)	
Densidad (pl/ha)																	
Ar	0,992																
Li	0,0508	0,689															
A	0,2075	0,0108	0,0049														
D Ap prom	0,7305	0,0884	0,9678	0,3248													
AU Si	0,0071	0,8262	0,1056	0,2284	0,4568												
PP Dic	0,019	0,9364	0,0077	0,0927	0,6732	0,1124											
PP Oct En	0,0917	0,9265	0,0367	0,2049	0,931	0,5127	<0,0001										
Ausi+pp	0,215	0,8927	0,0774	0,2887	0,9631	0,9009	0,0005	<0,0001									
P (ppm)	0,0021	0,6699	0,0895	0,4167	0,704	0,0021	0,0827	0,2859	0,5324								
MOT	0,8139	0,7343	0,3876	0,7066	0,7955	0,5557	0,905	0,7526	0,6659	0,5377							
%MOT	0,7078	0,484	0,3968	0,886	0,6815	0,7396	0,991	0,7203	0,668	0,675	<0,0001						
MO /arc+limo	0,4421	0,1512	0,9578	0,4064	0,4916	0,9925	0,5886	0,4398	0,4293	0,8977	0,0002	<0,0001					
MO joven	0,5851	0,4473	0,7175	0,4632	0,9534	0,7785	0,7181	0,497	0,453	0,6526	0,0007	0,0012	0,0003				
Nan	0,3284	0,1734	0,3487	0,119	0,9657	0,8811	0,5578	0,3953	0,3674	0,7257	0,0378	0,0374	0,0044	0,0052			
N (suelo)	0,8613	0,2193	0,028	0,0136	0,6044	0,7839	0,1085	0,0788	0,0813	0,8022	0,3723	0,4631	0,9623	0,9032	0,6265		
Testigo sin N	0,1407	0,392	0,8843	0,5326	0,3714	0,4566	0,3127	0,2716	0,3274	0,3979	0,0033	0,0004	0,0001	0,0108	0,0126	0,716	
Con N	0,0148	0,4437	0,281	0,2156	0,4752	0,1611	0,0406	0,0437	0,0814	0,1507	0,0352	0,0149	0,0026	0,0208	0,0308	0,616	
RESPUESTA	0,003	0,6618	0,0336	0,0901	0,7688	0,0617	0,0027	0,0069	0,0241	0,0741	0,4468	0,3692	0,1583	0,1864	0,2516	0,101	

## Análisis de componentes principales

## Datos estandarizados suelos Hapludoles

## Casos leídos 9

## Casos omitidos 0

## Variables de clasificación

Matriz de correlación/Coeficientes																
	pl/ha	Ar	Li	A	D Ap prom	AU Si	PP Dic	PP Oct En	Ausi+pp	P (ppm)	MOT	%MOT	MO /arc+lmo	MO joven	Nan	N (suelo)
pl/ha	1															
Ar	0,34	1														
Li	0,03	0,69	1													
A	-0,12	-0,83	-0,98	1												
D Ap prom	-0,33	-0,48	-0,26	0,35	1											
AU Si	0,13	0,13	-0,11	0,05	0,25	1										
PP Dic	0,23	-0,37	-0,54	0,53	-0,12	0,42	1									
PP Oct En	0,52	-0,09	-0,4	0,34	-0,4	0,21	0,9	1								
Ausi+pp	0,51	-0,07	-0,4	0,33	-0,34	0,38	0,92	0,98	1							
P (ppm)	-0,17	-0,77	-0,39	0,53	0,3	-0,02	0,63	0,39	0,37	1						
MOT	-0,15	-0,42	-0,54	0,54	0,08	0,3	0,38	0,24	0,28	0,24	1					
%MOT	0,32	0,29	0,03	-0,11	-0,91	-0,09	0,28	0,51	0,47	-0,21	0,31	1				
MO /arc+lmo	0,01	-0,65	-0,86	0,85	-0,16	3,30E-04	0,65	0,57	0,54	0,43	0,63	0,42	1			
MO joven	-0,55	-0,66	-0,35	0,46	0,18	0,09	0,13	-0,16	-0,13	0,31	0,64	0,08	0,51	1		
Nan	-0,13	-0,21	-4,00E-03	0,06	-0,53	-0,22	0,18	0,11	0,07	0,32	0,17	0,52	0,39	0,34	1	
N (suelo)	-0,46	-0,13	0,26	-0,17	0,1	-0,01	-0,22	-0,39	-0,37	0,23	0,42	-6,10E-04	-0,12	0,37	0,5	1
R sin N	-0,5	-0,52	0,02	0,13	4,90E-03	-0,23	0,04	-0,18	-0,21	0,58	0,38	0,08	0,23	0,61	0,74	0,82
R con N	-0,12	-0,66	-0,06	0,24	0,18	-0,35	0,25	0,13	0,06	0,83	0,2	-0,11	0,22	0,34	0,38	0,44
RESPUESTA	0,61	0,28	-0,07	-0,02	0,12	0,08	0,11	0,33	0,33	-0,25	-0,39	-0,19	-0,18	-0,62	-0,78	-0,84
Matriz de correlación/Probabilidades																
	pl/ha	Ar	Li	A	D Ap prom	AU Si	PP Dic	PP Oct En	Ausi+pp	P (ppm)	MOT	%MOT	MO /arc+lmo	MO joven	Nan	N (suelo)
pl/ha																
Ar	0,3722															
Li	0,9382	0,0396														
A	0,7655	0,0059	<0,0001													
D Ap prom	0,386	0,1891	0,4934	0,3623												
AU Si	0,7439	0,7416	0,7738	0,9054	0,5233											
PP Dic	0,559	0,3254	0,1347	0,1458	0,7615	0,2648										
PP Oct En	0,154	0,8099	0,2823	0,3676	0,2809	0,5911	0,0011									
Ausi+pp	0,1585	0,8666	0,2838	0,3823	0,3738	0,3151	0,0004	<0,0001								
P (ppm)	0,6647	0,015	0,3041	0,1464	0,433	0,9521	0,0681	0,2966	0,3318							
MOT	0,7041	0,2559	0,1356	0,1367	0,8303	0,4351	0,3195	0,5368	0,4659	0,5385						
%MOT	0,4045	0,4488	0,9417	0,7807	0,0006	0,8165	0,4613	0,1585	0,2032	0,5917	0,4134					
MO /arc+lmo	0,9711	0,0605	0,0032	0,0036	0,6737	0,9993	0,0565	0,1061	0,1304	0,2443	0,0663	0,2658				
MO joven	0,1271	0,0549	0,353	0,2134	0,6404	0,8142	0,7392	0,6868	0,7361	0,4218	0,0655	0,8302	0,1563			
Nan	0,7348	0,5824	0,9919	0,874	0,1441	0,5743	0,6475	0,7712	0,8614	0,3952	0,6622	0,1557	0,2965	0,3682		
N (suelo)	0,2183	0,7461	0,5026	0,6645	0,8063	0,9823	0,5782	0,2973	0,3238	0,5437	0,2648	0,9988	0,7578	0,3285	0,1742	
R sin N	0,1746	0,1534	0,9498	0,7431	0,9899	0,5517	0,9166	0,6437	0,5844	0,1039	0,3198	0,8285	0,5455	0,0811	0,0213	0,0069
R con N	0,7625	0,055	0,8809	0,537	0,6347	0,3511	0,5191	0,7417	0,8836	0,0054	0,6064	0,7811	0,5768	0,3781	0,3099	0,2362
RESPUESTA	0,0831	0,4657	0,852	0,9623	0,7672	0,8312	0,7817	0,3804	0,3849	0,5252	0,3051	0,6262	0,6445	0,0746	0,0141	0,0046

## Autovalores

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	6,21	0,33	0,33
2	4,86	0,26	0,58
3	3,2	0,17	0,75
4	1,8	0,09	0,85
5	1,43	0,08	0,92
6	0,65	0,03	0,96
7	0,46	0,02	0,98
8	0,38	0,02	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	1
15	0	0	1
16	0	0	1
17	0	0	1



18	0	0	1
19	0	0	1

## Autovectores

Variables	e1	e2
pl/ha	0,1	0,31
Ar	0,34	0,07
Li	0,28	-0,18
A	-0,31	0,12
D Ap prom	-0,04	-0,12
AU Si	-0,02	0,14
PP Dic	-0,26	0,29
PP Oct En	-0,16	0,38
Ausi+pp	-0,15	0,38
P (ppm)	-0,31	-0,01
MOT	-0,28	0,01
%MOT	-0,06	0,15
MO /arc+limo	-0,34	0,17
MO joven	-0,28	-0,18
Nan	-0,2	-0,13
N (suelo)	-0,12	-0,34
R sin N	-0,26	-0,31
R con N	-0,25	-0,14
RESPUESTA	0,19	0,33

## Correlaciones con las variables originales

Variables	CP 1	CP 2
pl/ha	0,25	0,69
Ar	0,84	0,14
Li	0,69	-0,4
A	-0,78	0,28
D Ap prom	-0,1	-0,27
AU Si	-0,04	0,31
PP Dic	-0,64	0,65
PP Oct En	-0,4	0,83
Ausi+pp	-0,38	0,84
P (ppm)	-0,77	-0,02
MOT	-0,69	0,02
%MOT	-0,16	0,33
MO /arc+limo	-0,84	0,38
MO joven	-0,69	-0,39
Nan	-0,51	-0,29
N (suelo)	-0,3	-0,76
R sin N	-0,64	-0,68
R con N	-0,61	-0,32
RESPUESTA	0,48	0,72

## ANEXO 5

## Información y tablas ensayos 2008 - 2009 y 2011

Características edáficas y agronómicas ensayos campaña 2008/2009.

Tabla 1: Sitios de ensayos complementarios 2008/09, serie de suelos predominante, % de arcilla, limo y arena, textura, densidad aparente, densidad aparente promedio, agua útil a la siembra, precipitaciones de Octubre a Enero, AUS más precipitaciones.

Campo	Lote	Fecha siembra	Textura %			Tex	Densidad aparente			D Ap Prom	AU Si 1,60 m	pp Oct En	Ausi+pp
			Arcilla	Limo	Arena		0 - 6	6 - 12	12 - 18				
2008/09													
JB Molina	Cicarelli	09/10/2008	26,5	51,5	22,0	fl				1,22	217	363	580
Gral Pinto	Vm L 6D	18/09/2008	24,8	28,7	46,5	far	1,21	1,41	1,40	1,34	257	275	531,6
Gral Pinto	Vm L 6 ec	19/09/2008	24,8	28,7	46,5	far	1,21	1,41	1,40	1,34	252	275	526,6
Los Toldos	L 17	25/09/2008	26,7	29,5	43,7	f	1,10	1,32	1,34	1,25	239	202	440,7

Tabla 2: Sitios de ensayos complementarios 2008/09, serie de suelos predominante, MOT, % de MOT, Índice MOT/arcilla+limo, MO Joven, N del suelo a la siembra de 0 a 60 cm y N anaeróbico.

Campo	Lote	Serie de suelo	MOT tn.ha <sup>-1</sup>	%MOT 0-18	Índice MOT/A+L	MOJ tn.ha <sup>-1</sup>	N suelo siembra kg.ha <sup>-1</sup>	Nan ppm
JB Molina	Cicarelli	Peyrano 5	66,0	2,70	3,5	11,8	67,3	62,6
Gral Pinto	Vm L 6D	Lincoln 27	79,6	3,3	6,2	13,4	103,7	62,6
Gral Pinto	Vm L 6 ec	Lincoln 27	89,2	3,7	6,9	22,4	132,1	71,4
Los Toldos	L 17	Lincoln 5	62,0	2,8	4,9	12,5	83,6	37,5

Tabla 3: Sitios de ensayos complementarios 2008/09. Rendimientos de maíz para cada dosis de N.

Campo	Lote	RENDIMIENTO Kg/ha				
		P	N1	N2	N3	N4
2008/09						
JB Molina	Cicarelli	5159	5885	6016	6914	7035
Gral Pinto	Vm L 6D	6212	8165	8295	9106	9175
Gral Pinto	Vm L 6 ec	8423	8940	9560	9732	9780
Los Toldos	L 17	7861	9061	9100	9695	10033

Tabla 4: Sitios de ensayos complementarios 2008/09. N inicial para cada sitio. Coeficientes a, b y c de la ecuación exponencial, x máximo de N en kg ha<sup>-1</sup>, x económica de N en kg.ha<sup>-1</sup>, rendimiento a la dosis x económica, respuesta al uso de N en kg.ha<sup>-1</sup> (y econ – testigo real sin N), eficiencia de conversión en kg de maíz/ kg de N aplicado de cada zona geográfica, y testigo en función de la ecuación exponencial, respuesta o diferencia de producción y económico – y testigo.

Costo e diferencia de producción y económicos y testigos.												
Campo	Lote	Kg./ha N inicial									y testigo	Rta c ecuación
			a	b	c	x max	x econ	y econ	Rta econ	Ef econ		
2008/09												
JB Molina	Cicarelli	67,3	4311,1	13,8	0,013	543	31	4732	-427	11,9	5182	-451
Gral Pinto	Vm L 6D	103,7	2174,2	49,7	0,088	282	208	8687	2475	23,8	6376	2311
Gral Pinto	Vm L 6 ec	132,1	5724,2	25,4	0,040	321	156	8728	305	12,5	8388	341
Los Toldos	L 17	83,6	6363,9	22,2	0,033	332	138	8791	930	17,1	7987	804

### Características edáficas y agronómicas ensayos campaña 2009/2010.

En la Tabla 5 se observan los datos de los 24 sitios de ensayos complementarios realizados en la campaña 2009/2010. Se indican la serie de suelo, la fecha de siembra, % de arcilla, limo y arena, clase textural, el total de agua útil a la siembra en mm hasta los 200 cm, precipitaciones de octubre a enero. Por último se indica la suma de los mm de agua útil a la siembra más las precipitaciones en el ciclo del cultivo de octubre a enero.

Tabla 5: Ensayos complementarios campaña 2009/2010. Sitio de ensayo, serie de suelo, fecha de siembra, % de arcilla, limo y arena, clase textural, agua útil a la siembra en mm hasta los 200 cm, precipitaciones de octubre a enero y suma del agua útil más las precipitaciones.

	Localidad	Lote	Serie suelo	Fecha Siembra	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Tex	AU siembra (0-200cm)	pp oct ene (mm)	AU si + pp (mm)
ARGIUDOS	Sta. Teresa - Sta Fe	LE 4 Crem	Peyrano	25-sep	24	52	24	fl	241	678	919
	Sta. Teresa - Sta Fe	LE 6A	Peyrano	01-oct	28	48	24	fa	244	678	922
	Sta. Teresa - Sta Fe	LE 6 7 Casco	Peyrano	07-oct	28	50	22	fa	249	660	909
	Sta. Teresa - Sta Fe	LE 12 Polo	Peyrano	06-oct	26	50	24	fl	285	660	945
	Sta. Teresa - Sta Fe	LE 14 A	Peyrano	04-oct	24	52	24	fl	272	660	932
	L.V. López - Sta Fe	LH 2	Roldán	23-sep	26	54	20	fl	172	586	758
	L.V. López - Sta Fe	LH 12	Roldán	25-sep	24	54	22	fl	119	586	705
	Máximo Paz - Sta Fe	CS 9	Pergamino	02-oct	26	44	30	f	210	853	1063
	JB Molina - Sta Fe	Martinelli	Peyrano	02-oct	27	50	23	fl	255	765	1020
	Bustínza - Sta Fe	Alb 6	Bustínza	25-sep	27	56	17	fl	227	746	973
	JB Molina - Sta Fe	LM Sur	Peyrano	25-sep	26	44	30	f	305	765	1070
	Fontesuela - Bs. As.	San Miguel	Urquiza	06-oct	26	44	30	f	251	697	948
	<b>PROMEDIOS</b>				<b>26,0</b>	<b>49,8</b>	<b>24,2</b>		<b>236</b>	<b>695</b>	<b>930</b>
	Localidad	Lote	Serie suelo	Fecha Siembra	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Tex	AU siembra (0-200cm)	pp oct ene (mm)	AU si + pp (mm)
HAPLUUDOS	Gral. Pinto - Bs. As.	Val 7 B	Lincoln 27	24-sep	16	30	54	far	357	541	898
	Gral. Pinto - Bs. As.	Val 7 D		26-sep	12	26	62	far	243	541	784
	Vedia - Bs. As.	SP 1	Lincoln	25-sep	14	22	64	far	411	672	1083
	Vedia - Bs. As.	SP 6		26-sep	10	26	64	far	206	672	878
	Cnel. Granada - Bs. As.	LA 3	Saboya 3	27-sep	17	30	53	far	312	715	1027
	Cnel. Granada - Bs. As.	LA 7		02-oct	17	26	57	far	259	715	974
	Gral. Pinto - Bs. As.	LR 22	Lincoln 26	30-sep	14	30	56	far	249	817	1066
	Gral. Pinto - Bs. As.	LR 25 N		21-sep	16	20	64	far	279	817	1096
	Gral Viamonte Los Toldos	BH 12	Lincoln 5	05-oct	15	32	53	far	328	518	846
	Gral Viamonte Los Toldos	BH 30 Bajo	Norumbega 3	10-oct	14	36	50	far	267	518	785
	Gral Viamonte Los Toldos	BH 30 Loma		10-oct	10	22	68	far	156	518	674
	P. italiano - Cba	VIII 3		27-sep	12	20	68	far	122	614	736
	<b>PROMEDIOS</b>				<b>13,9</b>	<b>26,7</b>	<b>59,4</b>		<b>266</b>	<b>638</b>	<b>904</b>

En la Tabla 6 se indican para esos mismos sitios y para la profundidad de 0 a 20 cm la densidad aparente, el contenido de materia orgánica total, el Índice MOT/arcilla + limo, el contenido de MO Joven, el contenido de N del suelo como nitratos de 0 a 60 cm, el N incubado en forma anaeróbica de la profundidad de 0 a 20 cm (Nan) y el Índice ISNT (Illinois Side Nitrogen Test) para 0 a 20 cm.

Tabla 6: Ensayos complementarios campaña 2009/2010. Sitio de ensayo, densidad aparente, materia orgánica total en Tn.ha<sup>-1</sup> y en %, Índice MOT/ arcilla + limo, MO Joven en Tn/ha, N del suelo de 0 a 60 cm, Nitrógeno anaeróbico e Índice ISNT.

Campo	Lote	Dap (0-20cm) prom	MO total Tn/ha	%MOT	MO / arc+limo	MO joven (tn/ha)	N suelo 0-60cm (kg/ha)	Nan (ppm)	ISNT (ppm)
Sta Teresa - SF	LE 4 Crem	1.263	82.6	3.27	4.3	12.6	85.5	35.3	218.4
Sta Teresa - SF	LE 6 A	1.276	80.6	3.16	4.2	13.7	65.5	27.8	222.6
Sta Teresa - SF	LE 14 A	1.303	88.3	3.39	4.5	12.1	69.3	27.8	179.2
Sta Teresa - SF	LE 6 7 Casco	1.366	78.7	2.88	3.7	8.0	81.3	26.39	219.8
Sta Teresa - SF	LE 12 Polo	1.325	90.9	3.43	4.5	15.0	62.9	45.3	275.8
L.V. López - SF	Sjr 2	1.229	66.6	2.71	3.4	9.7	76.9	17.2	202.2
L.V. López - SF	Sjr 12	1.328	68.5	2.58	3.3	10.7	71.4	19.6	180.6
Maximo Paz - SF	CS 9	1.281	75.6	2.95	4.2	5.3	74.6	36.0	193.2
J.B. Molina - SF	Martinelli	1.349	68.3	2.53	3.3	7.0	28.6	55.5	235.2
Bustinza - SF	Alb 6	1.332	79.9	3.00	3.6	11.0	107.0	37.2	236.6
J.B. Molina - SF	LM Sur	1.306	78.4	3.00	4.3	10.9	61.8	35.6	173.6
Fontezuela - Bs As	San Miguel	1.358	77.1	2.84	4.1	6.6	72.5	39.5	271.6
<b>Promedio</b>		<b>1.310</b>	<b>78.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.9</b>	<b>10.2</b>	<b>71.4</b>	<b>33.6</b>	<b>217.4</b>
Campo	Lote	Dap (0-20cm) prom	MO total Tn/ha	%MOT	MO / arc+limo	MO joven (tn/ha)	N suelo 0-60cm (kg/ha)	Nan (ppm)	ISNT (ppm)
Lincoln Bs As	Vald 7 B	1.311	76.8	2.93	6.4	13.7	45.7	28.0	133.0
Lincoln Bs As	Vald 7 D	1.358	69.0	2.54	6.7	11.7	65.7	25.5	170.8
Vedia Bs As	SP 1	1.321	81.6	3.09	8.6	15.3	106.8	29.1	217.0
Vedia Bs As	SP 6	1.325	81.1	3.06	8.5	9.4	110.0	23.4	116.2
Gral Pinto Bs As	LA 3	1.400	80.1	2.86	6.1	9.8	88.4	27.7	196.0
Gral Pinto Bs As	LA 7	1.365	82.2	3.01	7.0	11.0	75.3	30.9	158.2
Gral Pinto Bs As	L Rin 22	1.394	81.4	2.92	6.6	17.6	88.9	24.6	194.6
Gral Pinto Bs As	L Rin 25 N	1.375	80.9	2.94	8.2	16.6	87.1	23.7	246.4
Los Toldos Bs As	BH 12	1.327	95.5	3.60	7.7	17.8	78.0	51.2	267.4
Los Toldos Bs As	BH 30 Bajo	1.313	94.0	3.58	7.2	12.0	91.7	33.8	306.6
Los Toldos Bs As	BH 30 Loma	1.300	68.6	2.64	8.3	11.6	120.0	27.4	243.6
Pueblo Italiano Cba	Vill 3	1.390	61.2	2.20	6.9	12.7	76.3	29.5	303.8
<b>Promedio</b>		<b>1.348</b>	<b>79.4</b>	<b>2.95</b>	<b>7.3</b>	<b>13.3</b>	<b>86.2</b>	<b>29.6</b>	<b>212.8</b>

## Resultados ensayos complementarios campaña 2009/10

En la Tabla 7 se observa para cada sitio de ensayo el híbrido de maíz utilizado, la fecha de siembra, densidad lograda y los rendimientos obtenidos con cada uno de los tratamientos de nitrógeno en la campaña 2009/10.

Tabla 7: Híbrido de maíz, fecha de siembra, densidad y rendimientos con cada tratamiento de N en cada sitio de ensayo

Localidad	Lote	Híbrido	FS	Densidad (pl/ha)	Rendimiento kg/ha					
					P + N0	P + N1	P + N2	P + N3	P + N4	P + N5
Sta. Teresa - Sta Fe	LE 4 Crem	DK 747	25-Sep	76605	8860	9636	10146	10713	11851	11967
Sta. Teresa - Sta Fe	LE 6 A	P2053Y	1-Oct	72063	8164	7852	9757	10579	11161	12304
Sta. Teresa - Sta Fe	LE 6-7 Casco	P2053Y	7-Oct	74246	3914	4428	5700	6569	6979	6745
Sta. Teresa - Sta Fe	LE 12 Polo	P2053Y	6-Oct	72232	3193	3876	4700	5738	6279	6750
Sta. Teresa - Sta Fe	LE 14 A	P2053Y	4-Oct	75079	6131	7093	7601	8197	9292	9209
L.V. López - Sta Fe	LH 2	NK 900 TD MAX	23-Sep	67023	10581	11268	12033	12141	12650	12777
L.V. López - Sta Fe	LH 12	NK 900 TD MAX	25-Sep	64940	8794	9840	10465	10471	11197	10968
Máximo Paz - Sta Fe	CS 9	DK 190 MG RR2	2-Oct	70278	9080	9123	9580	10339	10440	10931
JB Molina - Sta Fe	Mart	P2053Y	2-Oct	82004	4305	4462	6904	7945	9401	9774
Bustanza - Sta Fe	Bus 6	AW 190 MG RR2	25-Sep	75500	10675	10752	11540	11884	11634	12230
JB Molina - Sta Fe	LM Sur	DK 684 RR2	25-Sep	73492	6262	7577	7766	8300	8985	9837
Fontesuela - Bs. As.	SM	DK 190 MG RR2	6-Oct	69841	8611	9812	10793	11392	11390	11950
			<b>PROM</b>	<b>72775</b>	<b>8146</b>	<b>8742</b>	<b>9659</b>	<b>10196</b>	<b>10800</b>	<b>11195</b>
Localidad	Lote	Híbrido	FS	Densidad (pl/ha)	Rendimiento kg/ha					
					P + N0	P + N1	P + N2	P + N3	P + N4	P + N5
Gral. Pinto - Bs. As.	Val 7 B	P2053Y	24-Sep	64881	9446	11273	12143	13434	13268	13580
Gral. Pinto - Bs. As.	Val 7 D	P2053Y	26-Sep	63095	9063	10825	11716	12215	12337	12145
Vedia - Bs. As.	SP 1	NK 940	25-Sep	61706	10330	9873	10499	11453	10417	11320
Vedia - Bs. As.	SP 6	NK 940	26-Sep	61071	10085	10390	10985	10670	11389	11961
Cnel. Granada - Bs. As.	LA 3	DK 747 MG RR2	27-Sep	77183	9209	10659	11633	12212	12578	12723
Cnel. Granada - Bs. As.	LA 7	NA 886	2-Oct	80873	7195	8585	9998	10707	12005	12299
Gral. Pinto - Bs. As.	LR 22	P2053Y	30-Sep	73095	11199	11822	12762	12985	14110	13655
Gral. Pinto - Bs. As.	LR 25 N	NA 886	21-Sep	71032	8673	8768	10389	10919	11942	12615
Gral. Viamonte Los Toldos - Bs BH 12		DK 747	5-Oct	71865	12759	12675	13398	13343	13283	14153
Gral. Viamonte Los Toldos - Bs BH 30 Bajo		DK 747 MG RR2	10-Oct	70873	10325	10601	11599	11938	12381	11894
Gral. Viamonte Los Toldos	BH 30 Loma	DK 747 MG RR2	10-Oct	68056	11254	11750	11773	11766	11363	11881
P. italiano - Cba	VIII 3	DK 190 MG RR2	27-Sep	68373	8379	8667	9325	9800	10285	10929
			<b>PROM</b>	<b>69342</b>	<b>9826</b>	<b>10491</b>	<b>11352</b>	<b>11787</b>	<b>12113</b>	<b>12430</b>

### Características edáficas y agronómicas ensayos campaña 2011/2012.

Tabla 8: Sitios de ensayos complementarios 2011/12, serie de suelos predominante, % de arcilla, limo y arena, textura y densidad aparente promedio.

Localidad	Lote	Serie	% arcilla	% limo	% arena	tex	D ap prom
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	Peyrano	28,7	61,2	10,1	fla	1,29
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	Peyrano	32,3	59,9	7,8	fla	1,29
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	Peyrano	30,3	62,7	7,0	fla	1,29
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	Peyrano	30,4	63,6	6,0	fla	1,31
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	Peyrano	26,2	67,7	6,1	fla	1,30
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	Peyrano	29,5	64,2	6,3	fla	1,26
Máximo Paz Sfe	CS 2	Pergamino	20,4	62,3	17,3	fl	1,30
L.V. López - Sta Fe	Sjr 2	Roldán (Rd)	32,1	65,6	2,3	fla	1,32
L.V. López - Sta Fe	SJR 5	Roldán (Rd)	29,9	66,1	4,0	fla	1,31
L.V. López - Sta Fe	SJR 6	Rd y Rd 10	29,2	68,0	2,8	fla	1,29
Fontesuela Bs As	SMi 1	Urquiza	27,8	66,2	6,0	fla	1,12
Villa Amelia Sfe	LNitos	Roldán 2	29,9	67,5	2,6	fla	1,18
Arnold Sfe	Trp	Peyrano	26,2	69,3	4,5	fl	1,24
Zavalla S fe	Bassi 4	Roldán (Rd)	28,7	67,2	4,1	fla	1,26
Totoras S Fe	DC 3	Classon	24,4	74,5	1,1	fl	1,24
Bustanza S Fe	DL 1	Classon	26,9	71,6	1,5	fl	1,21
<b>16</b>	<b>Promedio sur de Santa Fe</b>		<b>28,3</b>	<b>66,1</b>	<b>5,6</b>		<b>1,26</b>
Gral. Pinto	LCol1	Ln 31	20,3	39,5	40,2	f	1,28
Cnel. Granada	LA5	Saboya 3	22,8	34,8	42,4	f	1,30
Cnel. Granada	LA8	Lincoln 26	27,2	26,7	46,1	fara	1,29
Gral. Pinto	LRin31 Sur	Lincoln 26	25,0	28,6	46,5	fara	1,35
Gral. Pinto	SEst4	Sy 3	25,4	29,7	44,8	fara	1,17
Cnel. Granada	EM3	Sy 2	29,3	37,6	33,1	fa	1,29
Cnel. Granada	EM4	LN 26	11,1	49,0	39,9	f	1,32
Cnel. Granada	EDe13	Ln 26	23,7	32,7	43,6	f	1,29
Gral. Pinto	Vdm1 D	Ln 27	24,8	28,7	46,5	fara	1,34
Gral. Pinto	Vdm13A	Pch 14	25,5	32,7	41,8	f	1,29
Los Toldos	EBH1	Lincoln 5	26,7	29,5	43,7	f	1,25
Los Toldos	EBH11A	Ortiz de Rosas	27,5	32,6	39,9	f	1,32
Los Toldos	EBH11B		27,0	31,0	41,9	f	1,34
Los Toldos	EBH12		20,6	39,2	40,2	f	1,27
Vedia	SP 5	Or 40	25,9	28,7	45,4	fara	1,29
Vedia	SP 9	Or 40	29,0	34,4	36,6	fa	1,28
<b>16</b>	<b>Promedio NO de Bs As</b>		<b>24,5</b>	<b>33,5</b>	<b>42,0</b>		<b>1,29</b>

### Resultados ensayos complementarios campaña 2009/10.

En las Tablas 2 y 3 del Anexo 2 se observan los datos de los 24 sitios de ensayos complementarios realizados en la campaña 2009/2010. Se indican la serie de suelo, la fecha de siembra, % de arcilla, limo y arena, clase textural, el total de agua útil a la siembra en mm hasta los 200 cm, precipitaciones de octubre a enero. Por último se indica la suma de los mm de agua útil a la siembra más las precipitaciones en el ciclo del cultivo de octubre a enero. La Tabla 3 indica la densidad aparente, el contenido de

MOT, el Índice MOT/arcilla + limo, el contenido de MO Joven (0 a 20 cm), el contenido de N del suelo como nitratos (0 a 60 cm), el Nan (0 a 20 cm) y el Índice ISNT (Illinois Side Nitrogen Test) (0 a 20 cm). La Tabla 4 del Anexo indica para cada sitio el híbrido de maíz utilizado, la fecha de siembra, densidad lograda y los rendimientos obtenidos con cada uno de los tratamientos de N.

La campaña 2009/10 se caracterizó por lluvias abundantes (Tabla 2) acorde con el año climático Niño según el NOAA. En varios sitios se verificaron anegamientos temporarios que ocasionaron pérdidas de nitrógeno en el suelo.

En la Tabla 9 se encuentran señalados los puntos principales de la matriz de correlaciones con sus respectivos coeficientes de probabilidad y significancia estadística:

Tabla 9: Coeficientes de correlación entre el rendimiento del maíz sin N y con N y la respuesta al N con el N disponible a la siembra, precipitaciones (pp) del mes de Diciembre y el rendimiento de maíz sin N adicional y su significancia estadística en los ensayos de la campaña 2009/10.

Argiudoles	N disponible (0-60 cm)	pp Diciembre	Rendimiento sin N
Rendimiento sin N	0,59*	0,69*	
Rendimiento con N		0,58*	
Respuesta a N	-0,82**		-0,63*
Hapludoles	N disponible (0- 60 cm)	pp Diciembre	Rendimiento sin N
Respuesta a N	-0,66*	0,69*	-0,73**

p<0,01: \*\* y p<0,05: \*

Se observa en la Tabla 9 que en los suelos Argiudoles en esta campaña con buenas precipitaciones, el rendimiento de las parcelas testigo sin fertilizante nitrogenado y la

respuesta a la fertilización correlacionaron en forma directa e inversa respectivamente con el N disponible a la siembra. (0,59,  $p<0,05$  y -0,82,  $p<0,01$ )

Surge también de la Tabla 9 que las precipitaciones en el mes de Diciembre correlacionaron positivamente con el rendimiento de las parcelas testigo sin N (0,69,  $p<0,05$ ) y con N (0,58,  $p<0,05$ ).

También se observa que a un menor rendimiento de las parcelas testigo hubo una mayor respuesta al N (-0,63,  $p<0,05$ ).

En Hapludoles la respuesta al agregado de N estuvo correlacionada inversamente con la cantidad de N disponible a la siembra (-0,66,  $p<0,05$ ) y al rendimiento de la parcela testigo sin N (-0,73,  $p<0,01$ ). También se observa que a mayores precipitaciones en Diciembre hubo mayor respuesta al N (0,69,  $p<0,05$ ).



## Resultados ensayos complementarios campaña 2011/12

Tabla 10: Sitios de ensayos de validación 2011/12, % de Materia orgánica total (MOT), tn. ha<sup>-1</sup> de MOT, Índice MOT/a + 1, % de MOJ, tn.ha<sup>-1</sup> de MOJ, Índice IMO % MOJ/ % MOT, N incubado anaeróbico (Nan) de 0 a 20 cm en ppm, N en el suelo a la siembra de 0 a 60 cm en kg.ha<sup>-1</sup> (parcelas testigo sin N) y el N en el suelo parcelas fertilizadas (suelo + fertilizante):

Localidad	Lote	MO (%)	Ton/ha de MOT	MOT/a+1	MOJ (%)	Ton/ha de MOJ	%IMO MOJ/MOT	NAN ppm	N-N03 kg/ha	N final suelo + fert
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	3.41	88.0	3.8	0.276	7.1	8.1	49.6	44.6	274.6
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	3.19	82.4	3.5	0.266	6.9	8.3	46.8	67.8	297.8
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	2.83	73.1	3.0	0.159	4.1	5.6	47.5	56.7	286.7
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	3.09	80.9	3.3	0.210	5.5	6.8	52.4	50.1	280.1
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	3.46	90.2	3.7	0.277	7.2	8.0	57.3	59.9	289.9
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	3.23	81.7	3.5	0.290	7.3	9.0	47.5	59.6	289.6
Máximo Paz Sfe	CS 2	3.02	78.8	3.7	0.280	7.3	9.3	52.1	75.9	305.9
L.V. Lopéz - Sta Fe	Sjr 2	3.04	80.0	3.1	0.256	6.7	8.4	95.8	55.0	285.0
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 5	2.95	77.0	3.1	0.322	8.4	10.9	62	80.2	310.2
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 6	3.29	84.6	3.4	0.263	6.8	8.0	62.9	47.6	277.6
Fontesuela Bs As	SMi 1	3.45	77.6	3.7	0.224	5.0	6.5	53.6	78.4	308.4
Villa Amelia Sfe	LNitos	3.35	78.8	3.4	0.188	4.4	5.6	62.2	56.3	309.1
Arnold Sfe	Trp	2.91	72.3	3.1	0.232	5.8	8.0	40.2	78.3	313.0
Zavalla S fe	Bassi 4	3.20	80.7	3.3	0.276	7.0	8.6	57.3	68.1	293.1
Totoras S Fe	DC 3	2.76	68.2	2.8	0.223	5.5	8.1	51.7	30.7	260.7
Bustanza S Fe	DL 1	3.12	75.6	3.2	0.190	4.6	6.1	77.6	84.5	314.5
<b>16</b>		<b>3.15</b>	<b>79.4</b>	<b>3.3</b>	<b>0.246</b>	<b>6.2</b>	<b>7.8</b>	<b>57.3</b>	<b>62.1</b>	<b>293.5</b>
Gral. Pinto	LCol1	3.52	90.3	5.9	0.33	8.4	9.3	65.7	74.7	305
Cnel. Granada	LA5	2.88	74.8	5.0	0.20	5.2	6.9	45.4	42.6	273
Cnel. Granada	LA8	3.07	79.2	5.7	0.32	8.3	10.5	44.0	47.5	278
Gral. Pinto	Rin31 Su	2.70	72.8	5.0	0.20	5.5	7.6	44.7	36.9	267
Gral. Pinto	SEst4	2.73	64.0	4.9	0.20	4.7	7.4	39.5	57.9	288
Cnel. Granada	EM3	3.30	85.0	4.9	0.32	8.3	9.8	69.2	93.9	338
Cnel. Granada	EM4	3.19	84.3	5.3	0.23	6.0	7.1	79.7	68.4	312
Cnel. Granada	EDe13	3.15	81.4	5.6	0.23	6.0	7.4	53.6	90.3	334
Gral. Pinto	Vdm1 D	3.18	85.2	5.9	0.33	9.0	10.5	72.7		230
Gral. Pinto	Vdm13A	2.89	74.5	5.0	0.30	7.8	10.4	60.5	46.2	276
Los Toldos	EBH1	3.16	79.2	5.6	0.32	8.1	10.2	49.6	66.0	296
Los Toldos	EBH11A	3.89	103.1	6.5	0.40	10.7	10.3	49.6	74.4	304
Los Toldos	EBH11B	3.34	89.5	5.7	0.28	7.4	8.3	60.5	54.0	284
Los Toldos	EBH12	3.85	98.1	6.4	0.31	7.8	7.9	47.3	69.4	299
Vedia	SP 5	3.16	81.4	5.8	0.27	7.0	8.5	77.6	59.2	289
Vedia	SP 9	4.40	112.5	6.9	0.32	8.1	7.2	90.2	70.1	300
<b>16</b>		<b>3.28</b>	<b>84.7</b>	<b>5.6</b>	<b>0.285</b>	<b>7.4</b>	<b>8.7</b>	<b>59.4</b>	<b>63.4</b>	<b>292.1</b>

Tabla 11: Sitios de ensayos complementarios campaña 2011/12, fecha de siembra, híbrido de maíz utilizado y fertilización de base.

Localidad	Lote	Fecha de siembra	Híbrido	Fertilizante base
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	16-oct-11	P 2053Y	Mezcla 200 kg: 110 kg de FMA + 10 kg de Zn + 80 kg de Asufertil 70 FMA + 70 Asufertil
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	5-oct-11	NK 900 TD Max	
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	15-oct-11	DM 2738	
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	26-sep-11	NK 900 TD Max	
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	23-sep-11	NK 900 TD Max	
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	24-sep-11	NK 900 TD Max	
Máximo Paz S Fe	CS 2	6-oct-11	NK 900 TD Max	105 FMA + 70 Asufertil
L.V. Lopéz - Sta Fe	Sjr 2	16-oct-11	NK 900 TD Max	
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 5	17-oct-11	NK 900 TD Max	
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 6	18-oct-11	NK 900 TD Max	
Fontesuela Bs As	SMi 1	30-sep-11	DK 670 MG	110 kg FMA
Villa Amelia S Fe	LNitos	20-sep-11	AX 886 MG	120 kg FMA
Arnold S Fe	Trp	24-sep-11	DK 670 MG	110 kg FMA
Totoras S Fe	DC 3	11-oct-11	P 2053Y	SFT 100 kg SO4Ca 100 kg + Mezcla 15:30:00:10 60 kg
Bustinza S Fe	DL 1	17-oct-11	DK 670 MGRR2	
15				
Gral. Pinto	LCol1	22-sep-11	AX 881 HCL MG	108 kg/ha de FMA
Cnel. Granada	LA5	25-sep-11	P 2053 Y	100 kg SFT + 80 kg/ha S10
Cnel. Granada	LA8	23-sep-11	DK 747 MG RR	100 kg SFT + 60 kg/ha FMA
Gral. Pinto	LRin31 Sur	14-oct-11	P 2067 Y	146 kg S10
Gral. Pinto	SEst4	6-oct-11	P 2069	96 kg S10
Cnel. Granada	EM3	22-sep-11	P2053 Y	120 FMA
Cnel. Granada	EM4	22-sep-11	P2053 Y	120 FMA
Cnel. Granada	EDe13	22-sep-11	P 1979	
Gral. Pinto	Vdm1 D	22-sep-11	P2053 Y	150 kg 39,2P-8S-6,6N
Gral. Pinto	Vdm13A	30-sep-11	SPS 2736	
Los Toldos	EBH1	3-oct-11	DK 747 MG RR	100 FMA
Los Toldos	EBH11A	27-sep-11		
Los Toldos	EBH11B	1-oct-11		
Los Toldos	EBH12	2-oct-11	DK 747 MG RR	150 kg 39,2P-8S-6,6N
Vedia	SP5	28-sep-11		
Vedia	SP9	30-sep-11		
16				

Tabla 12: Sitios de ensayos complementarios 2011/12, serie de suelos a la que pertenecen las constantes hídricas, precipitaciones en el mes de diciembre y en el ciclo del 1ro de octubre al 30 de enero, mm de agua a capacidad de campo, mm de agua en el punto de marchitez permanente, agua útil a CC, agua total a la siembra hasta 2 m, y agua útil a la siembra. Cada medida de humedad es promedio de tres repeticiones.

Sitio	Lote	Constantes serie	Lluvias dic	Lluvias octubre a enero	CC	PMP	Agua útil a CC	Agua total siembra	Agua util a la siembra
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	Pey	24	350	675	409	266	718	309
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	Pey	23	307	675	409	266	693	284
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	Pey	23	307	675	409	266	698	289
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	Pey	23	307	676	410	266	699	290
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	Pey	23	307	675	409	266	676	267
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	Pey	23	307	673	408	265	661	254
Máximo Paz S Fe	CS 2	Pey	30	367	675	409	266	600	191
L.V. López - Sta Fe	Sjr 2	Cla	37	425	641	375	267	674	299
L.V. López - Sta Fe	SJR 5	Cla	37	425	641	375	266	674	299
L.V. López - Sta Fe	SJR 6	Cla	37	425	640	374	266	698	324
Fontesuela Bs As	SMi 1	Pey	13	244	664	403	262	640	237
Villa Amelia S Fe	LNitos	Pey	23	404	668	405	263	696	291
Arnold S Fe	Trp	Cla	55	433	637	372	265	609	237
Totoras S Fe	DC 3	Cla	20	460	661	386	275	593	207
Bustinza S Fe	DL 1	Cla	20	440	663	387	276	536	149
	<b>Prom n:15</b>		<b>27</b>	<b>367</b>	<b>662</b>	<b>396</b>	<b>267</b>	<b>658</b>	<b>262</b>
Gral. Pinto	LCol1	Sta Is	25	268	472	219	253	462	242
Cnel. Granada	LA5	Sta Is	11	274	474	220	254	384	164
Cnel. Granada	LA8	Sta Is	11	274	473	220	253	413	193
Gral. Pinto	LRin31 Sur	Sta Is	0	280	478	222	256	487	265
Gral. Pinto	SEst4	Sta Is	0	280	464	216	248	410	195
Cnel. Granada	EM3	Sta Is	12	292	469	218	251		
Cnel. Granada	EM4	Sta Is	12	292	475	221	254	613	392
Cnel. Granada	EDe13	Sta Is	12	292	473	220	253	399	179
Gral. Pinto	Vdm1 D	Sta Is	25	268	477	222	255	707	486
Gral. Pinto	Vdm13A	Sta Is	25	268	473	220	253	392	173
Los Toldos	EBH1	Sta Ana	48	359	386	147	239	434	287
Los Toldos	EBH11A	Magg	48	359	495	226	269	671	445
Los Toldos	EBH11B	Magg	48	359	496	227	269	699	472
Los Toldos	EBH12	Magg	48	359	491	224	266	616	392
Vedia	SP5	Sta Is	0	416	473	220	253	544	324
Vedia	SP9	Sta Is	0	416	472	219	253	556	337
	<b>Prom n:16</b>		<b>20</b>	<b>316</b>	<b>471</b>	<b>216</b>	<b>255</b>	<b>519</b>	<b>303</b>

Tabla 13: Sitios de ensayos complementarios 2011/12. Agua total y agua útil en la floración hasta 2 m de profundidad en las parcelas sin Nitrógeno y con Nitrógeno. Agua total y agua útil a la cosecha (0 a 2 m) en las parcelas sin Nitrógeno y con Nitrógeno. Cada medida de humedad es promedio de tres repeticiones.

Sitio	Lote	A Total a flor sin N	A Util a flor sin N	A Total a flor con N	A Util a flor con N	ATotal a cosecha sin N	AUtil a cosecha sin N	ATotal a cosecha con N	Autil a cosecha con N
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	368.7	32.8	410.1	56.3	671.5	262.7	543.2	134.4
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	485.2	98.6	471	84.2	692.5	283.7	642.9	234.1
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	465.8	90.1	467.2	92.9	681.2	272.4	689.1	280.4
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	553.4	155.5	510.6	114.4	664.5	255.1	649.7	240.9
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	502.9	111.1	486.0	107.3	634.5	225.4	688.1	279.0
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	572.1	177.3	560.2	165.6	682.7	275.0	703.2	295.5
Máximo Paz S Fe	CS 2	368.9	16.7	363.0	12.5	565.0	155.9	563.0	153.8
L.V. López - Sta Fe	Sjr 2	502.0	127.7	497.7	125.0	679.0	304.2	604.2	229.3
L.V. López - Sta Fe	SJR 5	483.0	122.3	433.7	84.2	640.9	266.3	607.6	233.1
L.V. López - Sta Fe	SJR 6	527.5	169.1	507.4	154.2	673.6	298.8	698.6	323.8
Fontesuela Bs As	SMi 1	509.7	125.0	440.4	68.3	651.4	248.5	647.5	244.6
Villa Amelia S Fe	LNitos	520.9	135.3	491.4	102.8	651.2	246.2	676.0	271.0
Arnold S Fe	Trp	505.5	138.8	515.5	144.3	611.3	239.1	550.2	178.1
Totoras S Fe	DC 3	387.2	42.2	378	38.5	653.0	280.8	614.2	242.0
Bustanza S Fe	DL 1	393.2	44.8	390.5	62.6	616.9	245.7	621.1	249.9
	<b>Prom n:15</b>	<b>476.4</b>	<b>105.8</b>	<b>461.5</b>	<b>94.2</b>	<b>651.3</b>	<b>257.3</b>	<b>633.2</b>	<b>239.3</b>
Gral. Pinto	LCol1	279.3	66.5	277.9	62.7	524.1	299.3	516.3	291.6
Cnel. Granada	LA5	271.1	54.2	216.2	20.8	471.0	245.4	434.0	208.4
Cnel. Granada	LA8	256.8	45.3	277.7	62.0	524.5	299.3	504.1	279.0
Gral. Pinto	LRin31 Sur	339.7	130.9	304.0	100.9	533.3	305.9	503.7	276.2
Gral. Pinto	SEst4	227.7	23.1	247.5	45.1	428.2	207.0	454.1	232.9
Cnel. Granada	EM3	no	no	no	no	no	no	no	no
Cnel. Granada	EM4	356.4	135.6	364.6	143.8	698.6	472.3	704.0	477.7
Cnel. Granada	EDe13	229.6	18.2	237.6	27.7	461.4	236.2	451.8	226.6
Gral. Pinto	Vdm1 D	475.6	252.2	525.4	303.9	480.5	262.4	519.7	301.6
Gral. Pinto	Vdm13A	492.8	273.1	478.3	258.4	660.1	434.9	564.5	339.2
Los Toldos	EBH1	202.0	55.1	199.9	52.9	470.6	323.9	372.1	228.6
Los Toldos	EBH11A	408.4	182.1	372.6	148.6	673.9	447.6	666.0	439.7
Los Toldos	EBH11B	371.4	148.1	357.2	131.9	598.3	371.2	616.0	388.9
Los Toldos	EBH12	307.4	93.3	325.9	101.4	589.9	365.5	565.8	341.4
Vedia	SP5	323.0	108.0	402.9	183.0	609.7	384.5	610.2	385.0
Vedia	SP9	401.7	186.0	389.6	172.1	680.2	455.4	66.1	421.3
	<b>Prom n:16</b>	<b>329.5</b>	<b>118.1</b>	<b>331.8</b>	<b>121.0</b>	<b>560.3</b>	<b>340.7</b>	<b>503.2</b>	<b>322.5</b>

Tabla 14: Sitios de ensayos complementarios 2011/12, rendimiento del lote de producción comercial, rendimiento de la parcela sin N, rendimiento de la parcela con N y respuesta a la aplicación de N en kg ha<sup>-1</sup>. Con color resaltado se marcan los sitios donde la napa freática tuvo influencia positiva en los cultivos.

Sitio	Lote	Rinde lote kg/ha	Parcela sin N kg/ha	Parcela con N kg/ha	Respuesta kg/ha
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	7281	5938	9761	3823
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	7263	7196	8598	1401
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	7384	5852	9465	3613
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	6529	6067	6949	882
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	6714	7435	7699	264
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	7343	7023	10178	3155
Máximo Paz S Fe	CS 2	6759	6347	7616	1269
L.V. López - Sta Fe	Sjr 2	6914	5602	6600	998
L.V. López - Sta Fe	SJR 5	5608	4280	5738	1457
L.V. López - Sta Fe	SJR 6	3472	5900	7459	1559
Fontesuela Bs As	SMi 1	6500	6290	6684	395
Villa Amelia S Fe	LNitos	3500	6845	8036	1191
Arnold S Fe	Trp	8430	7228	7620	391
Totoras S Fe	DC 3	5800	5416	7750	2334
Bustanza S Fe	DL 1	10200	11669	14217	2548
	<b>Prom n:15</b>	<b>6646</b>	<b>6606</b>	<b>8291</b>	<b>1685</b>
Gral. Pinto	LCol1	1800	1929	4398	2468
Cnel. Granada	LA5	858	1047	305	-742
Cnel. Granada	LA8	1597	2159	374	-1785
Gral. Pinto	LRin31 Sur	3400	5069	6468	1399
Gral. Pinto	SEst4	0	303	792	489
Cnel. Granada	EM3	no	no	no	no
Cnel. Granada	EM4	5973	8898	13410	4512
Cnel. Granada	EDe13	siló	237	415	178
Gral. Pinto	Vdm1 D	no	no	no	no
Gral. Pinto	Vdm13A	6100	1506	3965	2459
Los Toldos	EBH1	5479	6307	6866	559
Los Toldos	EBH11A	10273	10786	13476	2690
Los Toldos	EBH11B	9309	10625	13884	3259
Los Toldos	EBH12	9309	11522	13923	2400
Vedia	SP5	7455	9614	12301	2687
Vedia	SP9	6980	10583	11971	1388
	<b>Prom n:14</b>	<b>5272</b>	<b>5756</b>	<b>7325</b>	<b>1569</b>

Tabla 15: Sitios de ensayos complementarios 2011/12, producción de materia seca (MS) total (hojas tallos mazorca y granos) de la parcela sin N, MS total de la parcela con N y respuesta a la aplicación de N en la producción de MS total en kg.ha<sup>-1</sup>. Con color resaltado se marcan los sitios donde la napa freática tuvo influencia en el rendimiento y en la producción de MS.

Sitio	Lote	Parcela sin N kg/ha de MS total	Parcela con N kg/ha de MS total	Respuesta kg/ha de MS total
Sta. Teresa Sta Fe	LE 1	15131	19591	4460
Sta. Teresa Sta Fe	LE 9/10	16088	21489	5402
Sta. Teresa Sta Fe	LE 13A	10333	12398	2065
Sta. Teresa Sta Fe	LE 15	10020	14082	4061
Sta. Teresa Sta Fe	LE 16	9573	14337	4763
Sta. Teresa Sta Fe	LE 17	11362	17134	5772
Máximo Paz S Fe	CS 2	14235	18775	4540
L.V. Lopéz - Sta Fe	Sjr 2	15683	18825	3141
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 5	12800	17939	5139
L.V. Lopéz - Sta Fe	SJR 6	12256	18942	6686
Fontesuela Bs As	SMi 1	12666	18784	6118
Villa Amelia S Fe	LNitos	13857	16135	2278
Arnold S Fe	Trp	14990	16176	1186
Totoras S Fe	DC 3	16855	18786	1931
Bustanza S Fe	DL 1	24763	25015	251
	<b>Prom n:15</b>	<b>14041</b>	<b>17894</b>	<b>3853</b>
Gral. Pinto	LCol1	7060	13390	6330
Cnel. Granada	LA5	11923	7513	-4410
Cnel. Granada	LA8	11886	14982	3096
Gral. Pinto	LRin31 Sur	16275	21558	5283
Gral. Pinto	SEst4	5917	6176	259
Cnel. Granada	EM3	16403	22231	5828
Cnel. Granada	EM4	no	no	no
Cnel. Granada	EDe13	7361	10007	2646
Gral. Pinto	Vdm1 D	no	no	no
Gral. Pinto	Vdm13A	12494	12916	422
Los Toldos	EBH1	13337	14398	1061
Los Toldos	EBH11A	21405	25868	4463
Los Toldos	EBH11B	17757	24878	7121
Los Toldos	EBH12	23026	24992	1966
Vedia	SP5	18774	25393	6619
Vedia	SP9	21606	25033	3427
	<b>Prom n:14</b>	<b>14659</b>	<b>17810</b>	<b>3151</b>